

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA:
INGENIERIA ELECTRÓNICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:
INGENIEROS ELECTRÓNICOS**

**TEMA:
INTERPRETACIÓN BIDIRECCIONAL DEL ALFABETO DACTILOLÓGICO
MEDIANTE UNA MANO ROBÓTICA Y UNA APLICACIÓN MÓVIL PARA
LA INTERACCIÓN CON PERSONAS SORDOMUDAS**

**AUTORES:
JEAN CRISTOPHER GARRIDO MACÍAS
PATRICIO FERNANDO UVILLUS TAYUPANTA**

**TUTOR:
CARLOS GERMÁN PILLAJO ANGOS**

Quito, septiembre del 2020

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros Garrido Macías Jean Christopher y Uvillus Tayupanta Patricio Fernando con documentos de identificación N° 0804366037 y N° 1723174619 respectivamente, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación intitulado: “INTERPRETACIÓN BIDIRECCIONAL DEL ALFABETO DACTILOLÓGICO MEDIANTE UNA MANO ROBÓTICA Y UNA APLICACIÓN MÓVIL PARA LA INTERACCIÓN CON PERSONAS SORDOMUDAS”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: ingenieros electrónicos, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



Garrido Macías Jean Christopher
Cédula: 0804366037



Uvillus Tayupanta Patricio Fernando
Cédula: 1723174619

Quito, septiembre del 2020

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el Proyecto Técnico, “INTERPRETACIÓN BIDIRECCIONAL DEL ALFABETO DACTILOLÓGICO MEDIANTE UNA MANO ROBÓTICA Y UNA APLICACIÓN MÓVIL PARA LA INTERACCIÓN CON PERSONAS SORDOMUDAS”, realizado por Garrido Macías Jean Cristopher y Uvillus Tayupanta Patricio Fernando, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, septiembre del 2020



.....
Carlos Germán Pillajo Angos

Cédula de identidad: 1709255119

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mi mamá que me dio la vida, educación, consejos y el apoyo incondicional en todo trascurso de mi carrera universitaria. A toda mi familia que nunca dejó de creer en mí. A mis amigos y maestros que, con su amistad, sus enseñanzas y la confianza que depositaron en mí me encuentro culminando mi carrera profesional.

Jean Cristopher Garrido Macías

Este proyecto de titulación se lo dedico con mucho cariño a toda mi familia a Fausto, Blanquita y David porque son un ejemplo de unión, perseverancia, respeto y trabajo, siempre estuvieron a mi lado y me brindaron su apoyo incondicional a lo largo de toda la carrera para cumplir una meta más en mi vida. Finalmente, mis amigos por todos los momentos compartidos en la carrera universitaria.

Patricio Fernando Uvillus Tayupanta

AGRADECIMIENTO

Agradezco principalmente a Dios por darme la salud y las fuerzas necesarias para seguir adelante días tras día para culminar mi formación académica. A mi madre María Elena Macías Cedeño que, gracias a su apoyo, sacrificio y esfuerzo me permitió seguir con perseverancia en mis estudios y culminarlos satisfactoriamente. Al ingeniero Carlos Pillajo por su amistad, conocimientos y paciencia prestada para el desarrollo de este proyecto. Finalmente, a esta prestigiosa Universidad por inculcarme buenos valores y formarme como un buen cristiano y un honrado ciudadano.

Jean Cristopher Garrido Macías

Quiero agradecer a Dios por permitirme compartir este momento tan especial junto a mi familia que se encuentra unida. A mis padres Fausto y Blanquita por el esfuerzo y sacrificio que realizaron durante todo este tiempo para darme la educación y así poder culminar mis estudios universitarios. A nuestro tutor el ingeniero Carlos Pillajo por su paciencia y amistad, con su guía llegamos a cumplir el objetivo que es la culminación de este proyecto de titulación. Agradezco también a la Universidad Politécnica Salesiana por la formación humana y académica que nos brindó el transcurso de mi vida universitaria.

Patricio Fernando Uvillus Tayupanta

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR	i
DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
ÍNDICE DE CONTENIDOS	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS.....	x
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT	xii
INTRODUCCIÓN.....	xiii
CAPÍTULO 1.....	1
ANTECEDENTES	1
1.1 Planteamiento del problema	1
1.2 Justificación.....	1
1.3 Objetivos.....	2
1.3.1 Objetivo general.....	2
1.3.2 Objetivos específicos	2
CAPÍTULO 2.....	3
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	3
2.1 La mano del ser humano.....	3
2.2 Partes de la mano.....	3
2.2.1 Carpo o muñeca	4
2.2.2 Metacarpo	4
2.2.3 Dedos de la mano.....	5
2.3 Movimientos de la mano	6
2.3.1 Movimiento flexo-extensión del carpo	6

2.3.1 Movimiento de la articulación metacarpo falángica del pulgar.....	7
2.3.1 Movimiento de la articulación interfalángica del pulgar	7
2.3.2 Movimientos de las articulaciones interfalángicas	7
2.4 Discapacidad auditiva.....	8
2.4.1 Clasificación por niveles de la pérdida auditiva	8
2.5 Lenguaje de señas.....	9
2.6 La Dactilología	9
2.7 Alfabeto dactilográfico ecuatoriano	10
CAPÍTULO 3.....	11
DISEÑO DE LOS PROTOTIPOS.....	11
3.1 Diagrama de bloques del proyecto	11
3.2 Controlador por usar.....	13
3.2.1 Arduino	13
3.2.2 Arduino Mega.....	14
3.3 Servomotores.....	14
3.3.1 Motores SG90	14
3.3.2 Servomotor MG996R	15
3.3.3 Conexión de los servomotores	16
3.4 Diseño de la mano robótica	17
3.5 Comunicación inalámbrica.....	20
3.5.1 Módulo Bluetooth HC-05	20
3.6 Diseño del guante sensorizado	21
3.6.1 Sensor de Flexión.....	21
3.6.2 Principio de funcionamiento.....	21
3.6.3 Acondicionamiento de la señal del sensor flex.....	22
3.6.4 Diagrama de conexión de los sensores con la placa Arduino mega	23
3.6.5 Conexión inalámbrica del guante	24

CAPÍTULO 4.....	26
IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOTIPO	26
4.1 Implementación del guante con el grupo de sensores	27
4.1.1 Elección del guante y colocación de sensores	28
4.1.2 Conexión de todos los elementos en el guante	29
4.1.3 Medición de valores de los sensores flex.....	30
4.1.4 Calibración de los sensores de acuerdo con el ángulo de deformación.....	31
4.1.5 Programación de Arduino para el funcionamiento del guante	32
4.2 Implementación de la mano robótica	34
4.2.1 Dispositivos de alimentación	40
4.2.2 Programación en Arduino para el funcionamiento de la mano robótica ...	40
4.3 Implementación de la aplicación móvil.....	42
CAPÍTULO 5.....	45
PRUEBAS Y RESULTADOS	45
5.1 Funcionamiento del guante sensorizado.....	45
5.2 Funcionamiento de la mano robótica	46
5.2 Comunicación inalámbrica entre guante sensorizado, mano robótica y aplicación	53
5.3 Presupuesto.....	57
CONCLUSIONES.....	58
RECOMENDACIONES.....	59
LISTA DE REFERENCIAS	60
ANEXOS	62

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. División de los huesos de la mano humana (Vista dorsal)	3
Figura 2.2. Partes de la muñeca	4
Figura 2.3. Ángulos formados por los dedos de la mano.....	6
Figura 2.4. Movimiento de la articulación metacarpofalángica.....	7
Figura 2.5. Movimientos de las articulaciones interfalángicas.....	8
Figura 2.6. Clasificación de Bureau Internacional de Audiofonología-BIAP.	9
Figura 2.7. Lenguaje de señas ecuatoriano.....	10
Figura 3.1. Diagrama de bloques del primer proceso (GMA).....	12
Figura 3.2. Diagrama de bloques del segundo proceso (AM).....	13
Figura 3.3. Arduino Mega 2560.....	14
Figura 3.4. Motor SG90.	15
Figura 3. 5. Servomotor MG996R.	16
Figura 3.6. Diagrama de conexión de los servomotores.	17
Figura 3.7. Ensamble del dedo anular.....	18
Figura 3.8. Articulaciones de la mano humana.....	18
Figura 3.9. Ensamble mecánico de la muñeca.	19
Figura 3.10. Módulos bluetooth de la mano robótica.	20
Figura 3.11. Sensor de flexión.	21
Figura 3.12. Funcionamiento del sensor flex.....	22
Figura 3.13. Divisor de tensión.....	22
Figura 3.14. Conexión de los sensores flex.....	24
Figura 3.15. Conexión bluetooth del guante.	25
Figura 4.1. Diagramas de flujos de los procesos.....	26
Figura 4.2. Diagrama del flujo del guante.....	27
Figura 4.3. Posición de sensores flex.....	28
Figura 4.4. Guante sensorizado.....	29
Figura 4.5. Guante sensorizado.....	30
Figura 4.6. Gráfica voltaje vs grados.	32
Figura 4.7. Código de mapeo para los sensores flex.....	33
Figura 4.8. Código de programación para obtener la letra A.....	34
Figura 4.9. Código de programación para el envío de datos.....	34

Figura 4.10. Diagrama de flujo de la mano robótica.....	35
Figura 4.11. Diseño final de la mano robótica.	36
Figura 4.12. Piezas de la mano robótica.	37
Figura 4.13. Movimientos del dedo meñique.	38
Figura 4.14. Mano robótica en proceso de ensamblaje.....	39
Figura 4.15. Mano robótica.....	39
Figura 4.16. Transmisión de datos hacia la aplicación móvil.....	41
Figura 4.17. Accionamiento de los motores para la letra A.....	41
Figura 4.18. Código de la mano en reposo.....	42
Figura 4.19. Diagrama de flujo de la aplicación móvil.....	42
Figura 4.20. Interfaz gráfica de la aplicación.....	43
Figura 4.21. Conexión de dispositivos bluetooth.....	44
Figura 4.22. Código para enviar y recibir texto en la aplicación.	44
Figura 5.1. Precisión del guante sensorizado.....	46
Figura 5.2. Conexión entre los 3 dispositivos.	54
Figura 5.3. Aplicación móvil: llegada de datos.....	55
Figura 5.4. Aplicación móvil envío de datos.	56

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1. Ubicación de los servomotores.	19
Tabla 4.1. Valores máximos y mínimos medidos de los sensores flex.	30
Tabla 4.2. Valores medidos del sensor flex.	31
Tabla 4.3. Parámetros de la letra A.	33
Tabla 4.4. Consumo de corriente de los servomotores.	40
Tabla 5.1. Valores de flexión medidos para cada letra.	45
Tabla 5.2. Alfabeto dactilológico replicado por el guante y mano robótica	47
Tabla 5.3. Tiempo de envío de datos.	54
Tabla 5.4. Tiempo en llegar los datos.	56
Tabla 5.5. Costo del desarrollo del proyecto.	57

RESUMEN

En el mundo las personas sordomudas se comunican entre sí por medio del lenguaje de señas, al interactuar con personas sin este tipo de discapacidad llegan a tener muchos problemas de comunicación ya sea para realizar una simple pregunta o en casos peores reportar una emergencia.

Ante esta problemática se desarrolló un sistema, el cual brinde la ventaja de establecer una comunicación acertada entre personas con discapacidad auditiva y cualquier otro individuo o viceversa, esto se realizó mediante una aplicación móvil en la cual se envíen los datos en forma de texto hacia una mano robótica y la misma replique el alfabeto dactilológico, además se implementó un guante que contiene un grupo de sensores, el cual permitió obtener los movimientos de la mano de una persona adulta con el conocimiento del lenguaje de señas para observarlas en la mano robótica, la cual enviará un mensaje de texto a la aplicación móvil con lo que se desea transmitir, todo esto con el objetivo de ser visualizados dentro de un lugar de conferencias o en una clase educativa. El sistema completo va a constar de una interfaz inalámbrica que comunica la mano robótica, el guante y la aplicación móvil para lograr la interpretación bidireccional.

El fin de realizar este proyecto fue impulsar y colaborar en la inclusión de personas con discapacidad auditiva tanto en el ámbito social como en el laboral, y que las mismas puedan ejercer todos sus derechos de manera libre sin generar inconvenientes al momento de comunicarse.

ABSTRACT

In the world deaf and dumb people communicate with each other through sign language, when interacting with people without this type of disability they have many communication problems either to ask a simple question or in worse cases to report an emergency.

Faced with this problem, a system was developed, which provides the advantage of establishing a successful communication between people with hearing disabilities and any other individual or vice versa, this was done through a mobile application in which data is sent in text form to a robotic hand and the same replicate the fingerprint alphabet, in addition a glove containing a group of sensors was implemented, which allowed obtaining the movements of the hand of an adult person with the knowledge of sign language to observe them in the robotic hand, the which will send a text message to the mobile application with what you want to transmit, all with the aim of being viewed within a conference venue or in an educational class. The complete system will consist of a wireless interface that communicates the robotic hand, the glove, and the mobile application to achieve two-way interpretation.

The purpose of carrying out this project was to promote and collaborate in the inclusion of people with hearing disabilities both in the social and occupational fields, and that they can freely exercise all their rights without causing inconvenience when communicating.

INTRODUCCIÓN

Con el paso del tiempo la tecnología forma parte de la vida diaria, en gran parte de los casos facilita el desempeño de ciertas actividades realizadas por la población. Lo que este proyecto busca es beneficiar a las personas con discapacidad auditiva al momento de querer comunicarse con el mundo que los rodea, esto mejoraría la calidad de vida y el desempeño de estas personas dentro de la sociedad. Por ello se plantea el desarrollo de un prototipo para la interpretación bidireccional del alfabeto dactilológico mediante una mano robótica, una aplicación móvil y un guante sensorizado.

El capítulo 1 constituye el preámbulo del trabajo de titulación, en cual consta planteamiento del problema, justificación del proyecto, objetivos generales y específicos.

El capítulo 2 presenta el análisis de la mano humana tomando en cuenta: sus conceptos, estructura, movimientos y características. Además, consta la fundamentación teórica de lo que es la discapacidad auditiva y la dactilología.

El capítulo 3 muestra el diseño del hardware del prototipo, describiendo y analizando cada uno de los materiales que se usarán dentro del proyecto, y se desarrolla el software de este.

En el capítulo 4 se incluye el ensamblaje de los prototipos del proyecto, se observa el proceso de implementación del guante sensorizado, la construcción de la mano robótica y el desarrollo de la aplicación móvil.

En el capítulo 5 se realizan las pruebas de funcionamiento, analizando sus resultados y comprobando el correcto desempeño del proyecto.

CAPÍTULO 1

ANTECEDENTES

1.1 Planteamiento del problema

En el Ecuador según el Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades (Conadis), existen 53.079 personas con discapacidad auditiva (Pérez, 2017), y únicamente 54 personas cuentan con la certificación de 'Intérpretes de Lengua de Señas Ecuatoriana'. El proceso de Certificación para desempeñar sus funciones como intérprete de lengua de señas es algo extenso y demoroso. Además, el poco interés por parte de empresas públicas y privadas de inclusión a personas sordomudas en el ámbito laboral se da por el conflicto que existe de establecer una comunicación con ellas, ya sea por parte del mismo personal de trabajo o en casos de clientes que sufran esta discapacidad. El contratar a un intérprete para que trabaje en una empresa en general puede generar más gastos por la poca frecuencia en la cual va a interactuar un cliente con esta discapacidad y mucho más si en la misma no existe una persona trabajando con esta discapacidad, en el país no se conoce de un sistema que permita interactuar con personas sordomudas, esto lo que se traduce en pérdida de tiempo, desconcierto, frustración y asilamiento del grupo de personas con discapacidad auditiva dentro de la sociedad.

1.2 Justificación

El fin de realizar este proyecto consiste en la inclusión de personas sordomudas en el ámbito social y laboral, de este modo se espera cumplir los requerimientos que se indica en el decreto de inclusión social, por lo que es necesario disponer de un intérprete o una herramienta capaz de solventar este problema tanto en instituciones públicas como privadas y así mejorar la calidad de vida de las personas que sufren de esta discapacidad. En Bélgica se dispone de una herramienta similar, se trata del robot del Proyecto Aslan, el cual consta de una mano robótica, capaz de realizar movimientos y se traduzca el texto al lenguaje de signos. (Rodríguez, 2017). De similares características existe el proyecto de un guante para sordomudos, que traduce el lenguaje de señas al celular. (Bardelli, 2019). En ambos casos se tratan de proyectos independientes, lo que se busca es combinar las dos herramientas y obtener un solo sistema de interpretación y comunicación con personas sordomudas.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Desarrollar una mano robótica con 11 grados de libertad y una aplicación móvil para la interacción entre personas sordomudas y personas que desconozcan el lenguaje de señas.

1.3.2 Objetivos específicos

- Investigar el lenguaje dactilológico para su interpretación dentro del sistema en una comunicación básica de reproducción letra a letra.
- Elaborar una mano robótica de 11 grados de libertad para la replicación del alfabeto dactilológico.
- Crear una aplicación móvil que permita el envío de datos en forma de texto hacia una mano robótica para su interacción con usuarios sordomudos.
- Implementar un guante del tamaño de una persona adulta con un sistema de sensores que permita la adquisición de los movimientos de la mano para reproducirlos en una aplicación móvil de manera textual y ser visualizados en una mano robótica.
- Realizar las pruebas del sistema para la comprobación del funcionamiento bidireccional de comunicación y el análisis de los resultados obtenidos.

CAPÍTULO 2

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1 La mano del ser humano

En la implementación del guante con sensores y del brazo robótico, es de suma importancia conocer la anatomía de la mano humana, logrando así que la estructura y funcionalidad del prototipo se desempeñe correctamente apegándose al accionar humano. Permitiendo así conocer los ángulos que cada dedo recorre y también la posición que debe tener cada uno de ellos al momento de simbolizar una letra del alfabeto dactilológico.

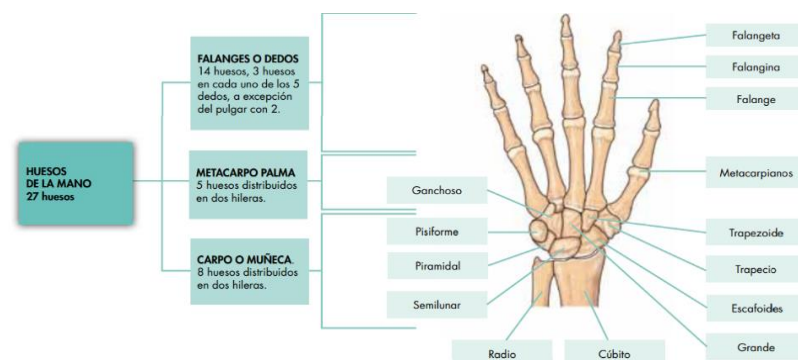
2.2 Partes de la mano

La mano está compuesta de:

- Músculos y huesos, los cuales permiten el movimiento.
- Arterias y venas, por donde circula sangre.
- Nervios, a través de estos apreciamos el sentido del tacto.
- Uñas y piel.

Ya que el fin de esta extremidad es ejercer presión en objetos o sobre si misma está formada por un conjunto de 27 huesos en total, los cuales están distribuidos en tres grupos que son: la fila distal del carpo, metacarpianos y las falanges. Como se muestra en la Figura 2.1.

Figura 2.1. División de los huesos de la mano humana (Vista dorsal)

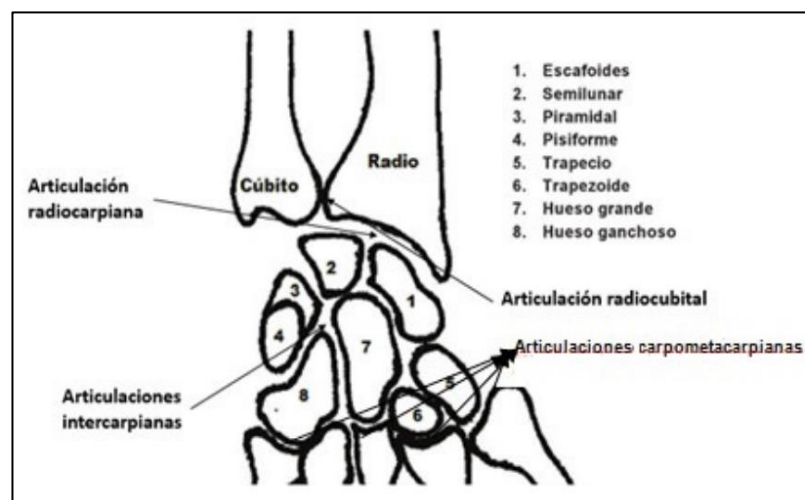


Estructura de la mano humana con todos sus huesos. (Duque Arias & Ibarra Caicedo, 2014)

2.2.1 Carpo o muñeca

La muñeca cumple un papel muy importante ya que es la encargada de unir el antebrazo y la mano, la misma está compuesta por un conjunto de articulaciones que son: radio carpiana, radio cubital, intercarpianas, y carpo metacarpianas. Además, consta de 8 huesos los cuales son: escafoides, semilunar, piramidal, pisiforme, trapecio, trapezoide, hueso grande y hueso ganchoso, como se observa en la Figura 2.2. (Medina et al., 2016)

Figura 2.2. Partes de la muñeca



Articulaciones y huesos que comprenden la muñeca. (Medina et al., 2016)

2.2.2 Metacarpo

El metacarpo contiene cinco huesos de forma cilíndrica y alargada dentro de su estructura, están ubicados entre el carpo y los dedos o falanges los mismos que forman la palma de la mano, tienen como característica principal su forma alargada. Se los enumera empezando desde la parte externa, el primer hueso es el más pequeño y pertenece al dedo pulgar, el segundo corresponde al de mayor tamaño de los 5 y teniendo al tercero cuarto y quinto sucesivamente menos largos que el anterior. (Soto et al., 2013)

2.2.3 Dedos de la mano

Nuestra mano posee 5 dedos los cuales se los enumera empezando siempre por el pulgar y estos son: Pulgar, Índice, Medio, Anular, Meñique. Los dedos son los que nos permiten ejercer presión y son vitales dentro del sentido del tacto, son 14 los huesos que forman los dedos de la mano que tienen forma cilíndrica en el medio y constan de extremos superiores e inferiores, cada dedo está constituido de tres huesos a excepción del pulgar el cual solamente tiene dos, cada hueso está acoplado a su correspondiente metacarpo. Cada hueso esta seccionado en 3 partes y son:

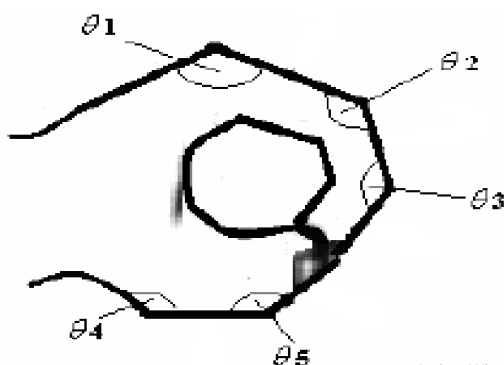
- Falanges proximales: se trata del primer hueso de cada dedo, es conocida fácilmente por encontrarse en los denominados nudillos, es decir en el inicio de cada dedo y se conectan con los metacarpianos.
- Falanges medias: estas falanges son más pequeñas que las proximales y se ubican en el medio de los 4 dedos que la contienen, esta no consta en la estructura del pulgar.
- Falanges distales: Son las últimas y son 5 en cada dedo estando ubicadas al extremo de las manos, cuya característica es que tienen una forma muy parecida a la de un cono, teniendo la base conectada con las falanges medias y terminado en punta al final del dedo.

Cada grupo de falanges están unidas entre sí por articulaciones las cuales son:

- Articulación metacarpofalángica: conecta la falange metacarpiana y proximal en el dedo pulgar.
- Articulación interfalángica proximal: establece la conexión ente las falanges proximal y media.
- Articulación interfalángica distal: comunica las falanges media y distal. (Aguilar & Pogo, 2013)

Al realizar movimientos de la mano en especial de los dedos tenemos la formación de varios ángulos, los cuales se generan entre ciertas falanges los dedos y dichos ángulos son fáciles de visualizar a simple vista.

Figura 2.3. Ángulos formados por los dedos de la mano.



Ángulos (θ) que se forman entre las falanges de los dedos. (Duque Arias & Ibarra Caicedo, 2014)

En la Figura 2.3. se puede observar la ubicación y la numeración que lleva cada uno de los ángulos, cada uno de ellos está estructurado de la siguiente manera:

- Ángulo compuesto por: hueso del metacarpo y la primera falange.
- Ángulo compuesto por: la primera y segunda falange.
- Ángulo compuesto por: la segunda y tercera falange.
- Ángulo compuesto por: hueso del metacarpo y la primera falange.
- Ángulo compuesto por: la primera y tercera falange. (Duque Arias & Ibarra Caicedo, 2014)

2.3 Movimientos de la mano

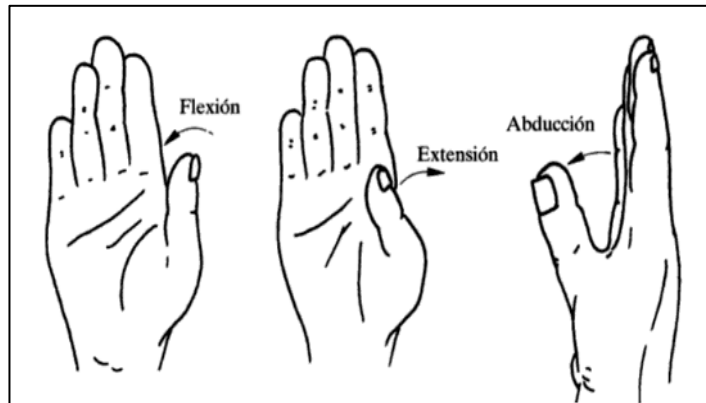
2.3.1 Movimiento flexo-extensión del carpo

Inclinar la palma de la mano hacia el interior se denomina el movimiento de flexión, tiene un rango de movimiento que varía entre los 70 y 90 grados, aquí intervienen las articulaciones intercarpianas y radiocarpianas. Este movimiento utiliza los músculos: palmar mayor, abductor del pulgar, y cubital interior, además de los flexores de los dedos. El movimiento de extensión se genera al inclinar la mano hacia el exterior del antebrazo, el ángulo de giro está comprendido entre 65 y 85 grados, al igual que el movimiento de flexión aquí se involucran las articulaciones las articulaciones intercarpianas y radiocarpianas.

2.3.1 Movimiento de la articulación metacarpo falángica del pulgar

Consta de dos pares de movimientos, el primero se trata de la flexión y extensión que constan con 45 grados de apertura. El segundo es la abducción y aducción que tienen una amplitud pequeña de 15 grados, en la Figura 2.4. se muestran los dos movimientos.

Figura 2.4. Movimiento de la articulación metacarpofalángica.



Movimientos de flexión, extensión, y abducción. (Palastanga et al., 2000)

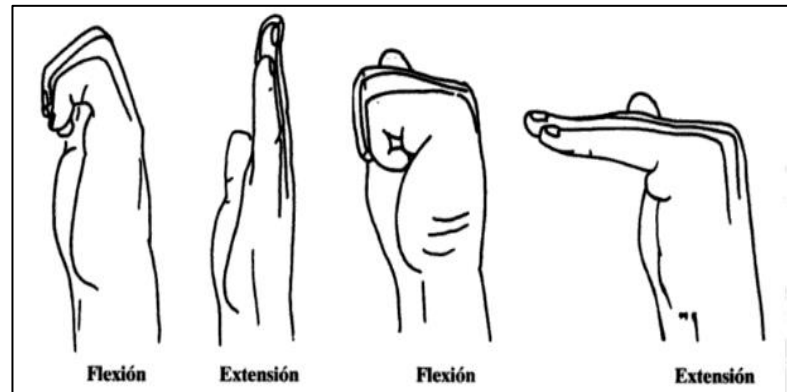
2.3.1 Movimiento de la articulación interfalángica del pulgar

Este movimiento solo se desplaza en una sola dirección o plano, consta de dos acciones que son flexión y extensión cuyo ángulo de desplazamiento esta entre los 10 y 90 grados.

2.3.2 Movimientos de las articulaciones interfalángicas

Como se mencionó con anterioridad los dedos a excepción del pulgar constan con tres falanges y las mismas solamente tienen el movimiento de flexión y extensión. En todos los dedos el rango de movimiento en la flexión de esta articulación es superior a los 90 grados, como se muestra en la Figura 2.5. (Palastanga et al., 2000)

Figura 2.5. Movimientos de las articulaciones interfalángicas.



Movimiento de flexión y extensión de las articulaciones interfalángicas. (Palastanga et al., 2000)

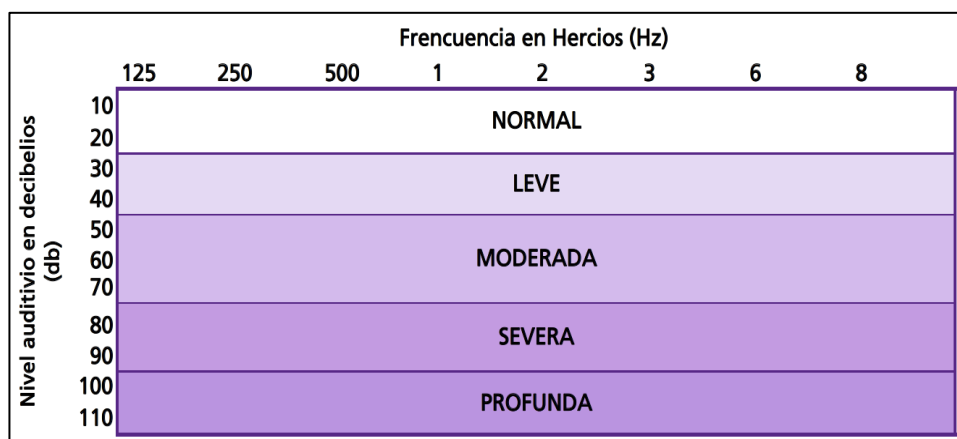
2.4 Discapacidad auditiva

Es la disminución de funcionalidad en el sentido del oído, generando así un quebranto en la comunicación oral. La pérdida de audición varía desde lo más ligero hasta tener un estado crítico y nulo de la audición, esta desventaja se puede ver mejorada con un desarrollo más completo de los demás sentidos como el tacto, la vista, o generar la habilidad de leer los labios de las demás personas del alrededor. Además, se puede decir que es una discapacidad invisible debido a que no es perceptible a simple vista, únicamente nos daríamos cuenta o la descubriríamos cuando se interactúa con la persona discapacitada. (Espínola Jimenez, 2015)

2.4.1 Clasificación por niveles de la pérdida auditiva

La pérdida de la audición también se la denomina hipoacusias y se las designan de diferente manera de acuerdo con el grado de pérdida, y se los mide en decibelios. La Bureau Internacional de Audiofonología-BIAP enumera cinco niveles de audición como se observa en la Figura 2.6., divididas según la intensidad con la que los sonidos son captados por nuestro oído.

Figura 2.6. Clasificación de Bureau Internacional de Audiofonología-BIAP.



Clasificación de los niveles de audición. (Espínola Jimenez, 2015)

2.5 Lenguaje de señas

Es uno de los sistemas de comunicación usados por personas con discapacidad auditiva además de los sistemas orales y los complementarios de comunicación oral, los cuales tienen como único fin mejorar la calidad de comunicación entre personas con y sin discapacidad auditiva.

El lenguaje de señas es una lengua universal entre los individuos con discapacidad auditiva que se fundamenta en gestos gráficos y acciones del cuerpo, los cuales se los percibe mediante el sentido de la vista, generando así una forma de comunicación alterna a la habitual. Este sistema de comunicación varía de acuerdo con la región o país en donde nos encontremos al igual que la comunicación oral y escrita. (Gutiérrez Sotomayor, 2013)

2.6 La Dactilología

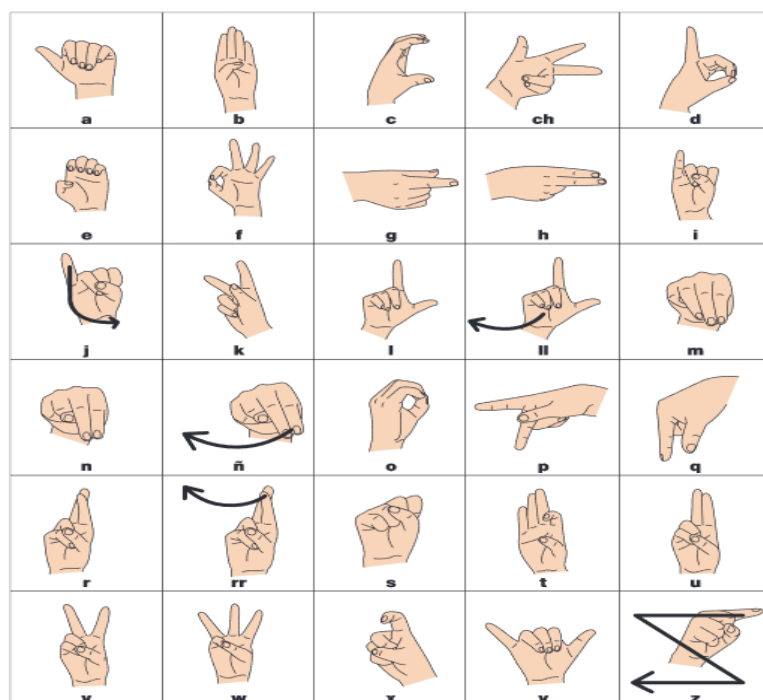
Esta palabra significa “Ciencia de los dedos”, y no es más que una representación gráfica en el aire de las letras del alfabeto mediante el uso de las manos lo cual nos permite establecer una comunicación entre personas sordomudas, transmitiendo así cualquier palabra o mensaje que se desee enviar sin importar su nivel de complejidad. Esta forma de comunicación la vemos a diario ya sea en la calle o en la televisión, siendo los autores policías de tránsito, árbitros deportivos o nosotros mismos con el

simple hecho de levantar la mano y moverla como un símbolo de saludo. (Vilches Vilela et al., 2017)

2.7 Alfabeto dactilográfico ecuatoriano

A continuación, en la Figura 2.7. se muestra el Diccionario Oficial del Lenguaje de Señas Ecuatoriano.

Figura 2.7. Lenguaje de Señas Ecuatoriano.



Diccionario Oficial del Lenguaje de Señas Ecuatoriano. (Estrada Jiménez, 2016)

CAPÍTULO 3

DISEÑO DE LOS PROTOTIPOS

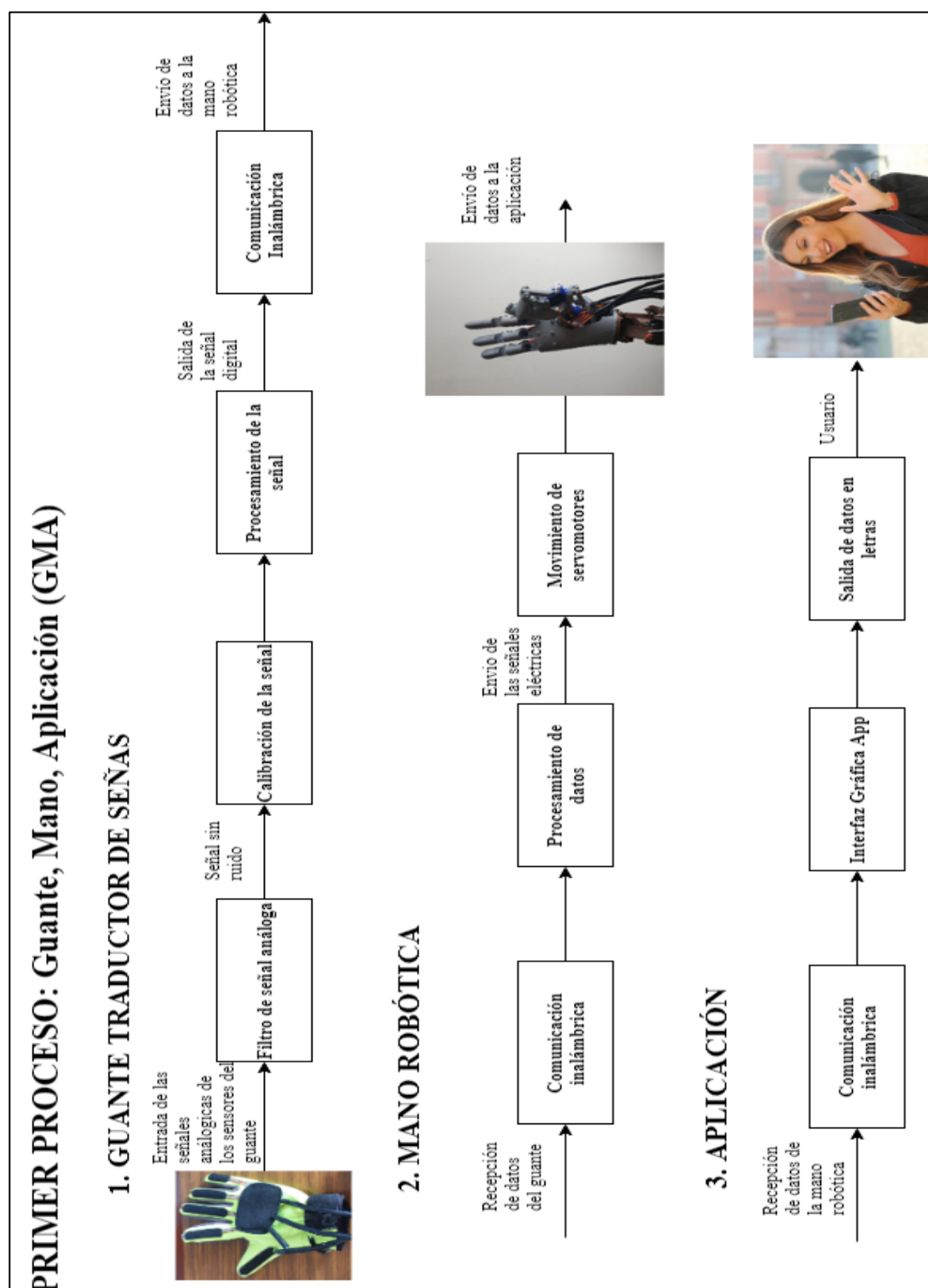
3.1 Diagrama de bloques del proyecto

En la propuesta se debe cumplir con varios requerimientos para que el proyecto satisfaga las necesidades de los usuarios, una de ellas es que debe ser de fácil manejo y contar con un entorno amigable con los usuarios. Además, tiene que ser eficaz al momento de usarla en la vida diaria.

En las Figuras 3.1 y 3.2 se muestra el desarrollo del proyecto explicado mediante diagramas de bloques, se puede observar que se divide en dos subprocesos los cuales componen los prototipos y permiten la comunicación bidireccional.

En el primer proceso (GMA), el guante con el grupo de sensores capta los movimientos realizados por la persona que lo usa al formar una letra y envía los datos generados, estos son replicados por la mano robótica para que finalmente llegue en texto a la aplicación.

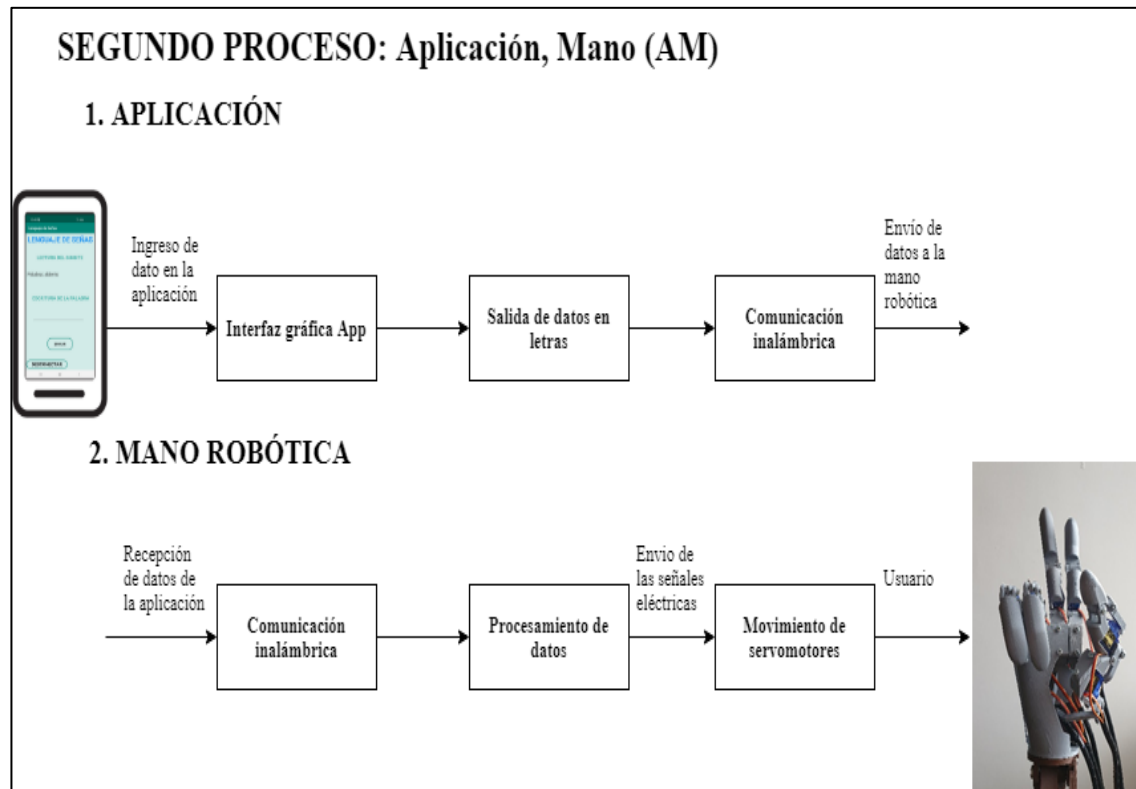
Figura 3.1. Diagrama de bloques del primer proceso (GMA).



Comunicación entre guante, aplicación móvil y mano robótica. (Cristopher Garrido, Patricio Uvillus)

En el segundo proceso (AM) se ingresa cualquier letra, palabra o frase en la aplicación móvil, esos datos se procesan y se envían al controlador de la mano robótica para que la misma realice los movimientos del lenguaje dactilológico de acuerdo con el texto ingresado.

Figura 3.2. Diagrama de bloques del segundo proceso (AM).



Etapas entre la aplicación móvil y mano robótica. (Cristopher Garrido, Patricio Uvillus)

3.2 Controlador por usar

3.2.1 Arduino

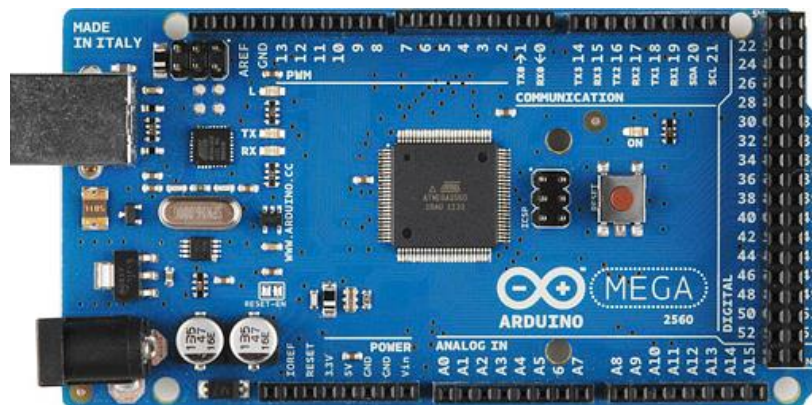
Se trata de la plataforma de desarrollo más usada en el mundo de la programación dentro de la electrónica y la robótica, de software libre. Consta de entradas y salidas las con las cuales se puede conectar diversos tipos de sensores y actuadores de manera práctica y fácil. Su centro de funcionamiento se encuentra en un microcontrolador el cual es reprogramable. (Loureiro & Pujol, 2017)

Existen muchos modelos de Arduino, cada uno de ellos brinda diferentes prestaciones para acoplarse a las necesidades del programador, entre las cuales tenemos placas: nano, mega, Leonardo, uno, yun. (Loureiro & Pujol, 2017)

3.2.2 Arduino Mega

Se optó por usar el controlador Arduino Mega (ver Figura 3.3), es el más completo entre todos sus hermanos, porque vamos a conectar muchos actuadores y este dispone gran cantidad de salidas. Su conexión y programación en el computador es sencilla, es de libre acceso y de bajo costo.

Figura 3.3. Arduino Mega 2560.



Fotografía de la placa Arduino Mega. (Lastra, 2015)

3.3 Servomotores

3.3.1 Motores SG90

Este es uno de los servos motores más comunes y económicos del mercado por lo tanto son unos de los más usados dentro de la electrónica, el SG90 (ver Figura 3.4) se los clasifica como un servo miniatura debido a sus dimensiones. (Bolaños, 2018)

Figura 3.4. Motor SG90.



Fotografía del motor SG90 usado. (Bolaños, 2018)

Entre sus principales características tenemos: 9 gramos de peso, medidas 22 x 11.5 x 27 mm, velocidad: 60° en 100 ms, torque: 1.8 kg-cm, alimentación: 3.0-7.2 V, ángulo de trabajo: 180°, ancho de pulso: 500-2400 us. (Bolaños, 2018)

Debido a las distintas prestaciones que tenemos en este servomotor se convierte en el dispositivo ideal para la implementación del proyecto, en especial en el prototipo de la mano robótica. Se usó 11 motores los cuales están ubicados en las falanges de la mano para dar movilidad a los dedos.

3.3.2 Servomotor MG996R

Este actuador es un servomotor más robusto a comparación del SG90 (ver Figura 3.5), se destaca en su clase por su gran torque el cual es hasta de 11 kg, por ello se usó dos de ellos para el movimiento de la muñeca ya que los mismos soportan el peso de la mano, su rango de giro es de 0 a 180 grados, y su fácil accesibilidad se debe a que es compatible con los softwares de desarrollo más diversos. Sus principales características son: su alimentación se encuentra en 4,8-7,2 voltios, la corriente que consume es de 500-900 mA y su velocidad es de 0,14 seg/60° sin carga, cuenta con un peso de 55g y su ancho de pulso es de 600 us u 2400 us. (Triviño, 2018)

Figura 3. 5. Servomotor MG996R.

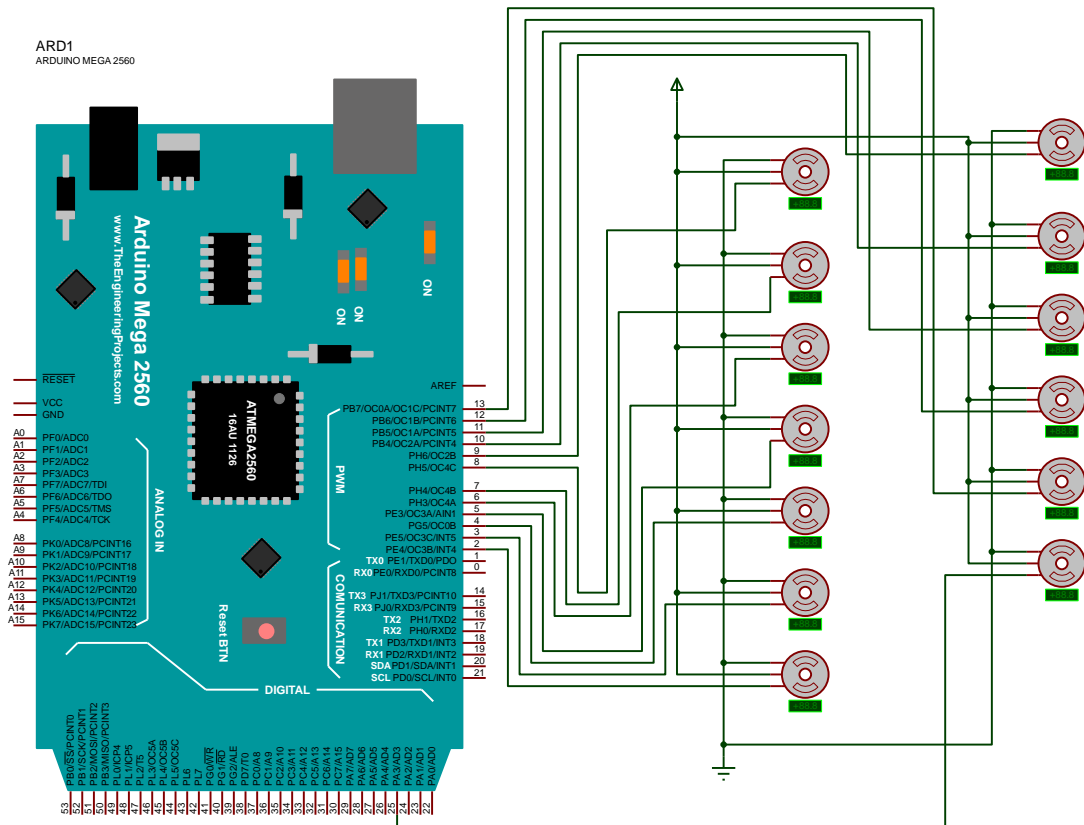


Fotografía del motor MG996R (Triviño, 2018)

3.3.3 Conexión de los servomotores

En la Figura 3.6. se muestran las conexiones de los servomotores que conforman la mano robótica, en dicho esquema constan los 11 servomotores SG90, los cuales están conectados desde los pines 2 al 12, y los dos MG996R están conectados a los pines 13 y 25 que corresponden a las señales PWM del arduino mega. Dando un total de 13 actuadores los cuales generarán los movimientos de la mano robótica.

Figura 3.6. Diagrama de conexión de los servomotores.



Conexiones de los 13 servomotores con la placa Arduino. (Cristopher Garrido, Patricio Uvillus)

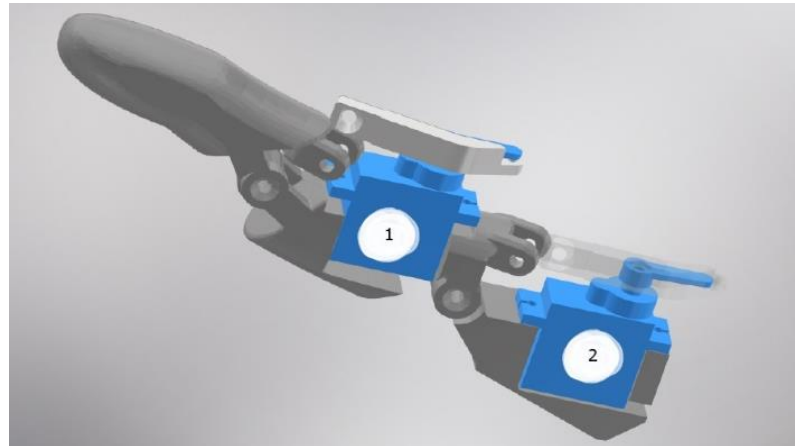
3.4 Diseño de la mano robótica

A continuación, se muestra el diseño mecánico de la mano robótica, la cual se realizó usando el software Inventor 2020 de Autodesk el cual es usado para la creación de todo tipo de estructuras en 2D o en 3D, el prototipo será ensamblado de acuerdo con los requerimientos, que es tener un correcto movimiento al formar las letras del alfabeto dactilológico. Aquí se tiene como principales gestores de movimientos a los servomotores los cuales serán controlados por la tarjeta electrónica y dan lugar a la formación de cada letra.

En la Figura 3.7. se muestra el ensamble de uno de los dedos de la mano robótica, se trata del dedo anular en donde el servomotor número 2 representa a la articulación metacarpofalángica, la misma se encuentra ubicada entre el hueso metacarpiano y la

falange proximal del dedo. El servomotor número 1 representa la articulación interfalángica proximal que se localiza entre la primera y segunda falange.

Figura 3.7. Ensamble del dedo anular.



Estructura del dedo anular con sus articulaciones. (Cristopher Garrido, Patricio Uvillus)

Figura 3.8. Articulaciones de la mano humana.



Ubicación de los dedos y servomotores en la palma. (Cristopher Garrido, Patricio Uvillus)

Tabla 3.1. Ubicación de los servomotores.

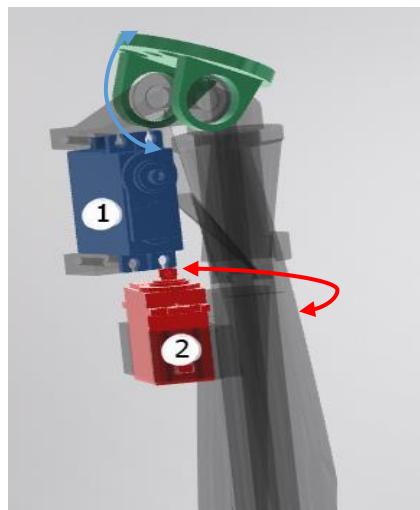
1: Falange medial meñique	7: Falange medial índice
2: Falange proximal meñique	8: Falange proximal índice
3: Falange medial anular	9: Falange medial del pulgar
4: Falange proximal anular	10: Falange proximal del pulgar
5: Falange medial medio	11: Metacarpo pulgar
6: Falange proximal medio	

Distribución de los servomotores en la mano del prototipo. (Cristopher Garrido, Patricio Uvillus)

La Figura 3.8. muestra el diseño final de la palma y la ubicación de los dedos, además en la Tabla 3.1 se indica el nombre de cada articulación en función al servomotor que ejecutará los movimientos de flexión y extensión.

En la Figura 3.9. se muestra el diseño de la muñeca, la cual puede realizar los movimientos de esta usando dos servomotores. En dónde el actuador número 1 permite realizar los movimientos de flexión y extensión, mientras el servomotor número 2 realiza la acción de circunducción.

Figura 3.9. Ensamble mecánico de la muñeca.



Diseño estructural de la muñeca. (Cristopher Garrido, Patricio Uvillus)

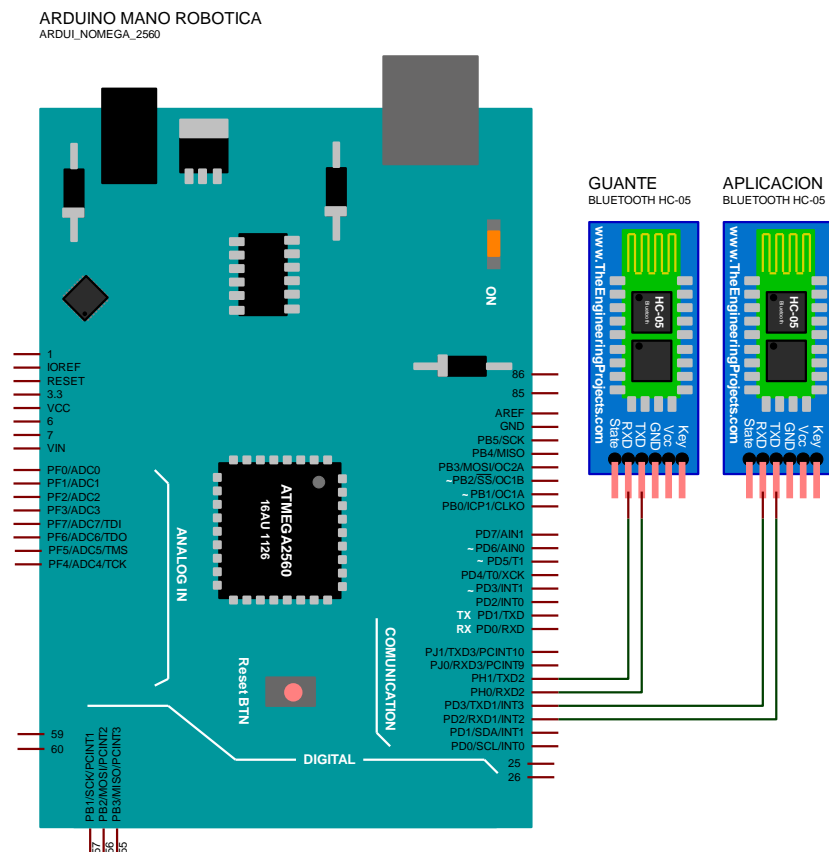
3.5 Comunicación inalámbrica

3.5.1 Módulo Bluetooth HC-05

Este módulo es uno de los más usados al momento de realizar una comunicación inalámbrica en proyectos programados en Arduino ya que es económico y común en el mercado. Este dispositivo tiene dos modos de operación que son: maestro y esclavo y se lo asigna de acuerdo con las necesidades del programador. (Biendicho, 2015)

Este dispositivo consta 6 pines, los cuales permiten la configuración. En la mano robótica se usan dos, uno de ellos está conectado en el serial 2 (pines17 (RX) y 16 (TX)) del Arduino mega para adquirir los datos de guante mientras que el otro estará conectado a serial 3 (pines 15 (RX) y 14 (TX)) para enviar y recibir datos de la aplicación tal como se muestra en la Figura 3.10.

Figura 3.10. Módulos bluetooth de la mano robótica.



Conexiones bluetooth de la mano robótica. (Cristopher Garrido, Patricio Uvillus)

3.6 Diseño del guante sensorizado

3.6.1 Sensor de Flexión

Este sensor tiene como variable principal la resistencia, la misma que cambia su valor cuando se lo dobla (ver Figura 3.11.), es ideal para trabajar en ambientes flexibles en donde se requiera medir la deformación de algún objeto, para el prototipo del guante es el indicado por su tamaño y la forma que tiene, mediante el cual se adquieren los movimientos de flexión de los dedos al formar las leras del alfabeto dactilológico. (Duque Arias & Ibarra Caicedo, 2014)

Figura 3.11. Sensor de flexión.

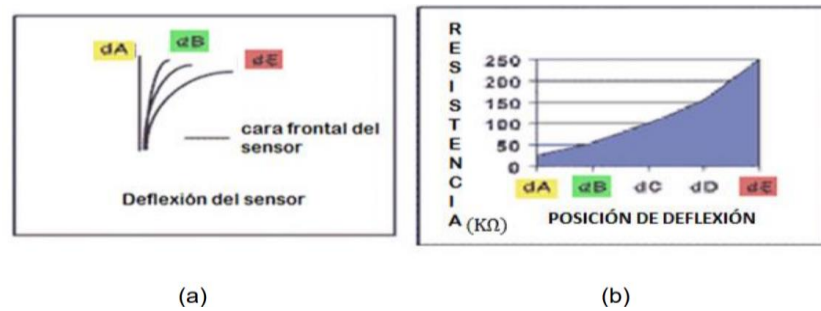


Sensor de flexión comercial. (Duque Arias & Ibarra Caicedo, 2014)

3.6.2 Principio de funcionamiento

Es un sensor compuesto por tinta polimérica la misma que tiene la propiedad de conducir energía eléctrica a través de sus partículas. Cuando el sensor esta sin someterse a una deformación presenta una resistencia de 10 k Ω , dicha resistencia va aumentando de acuerdo con el grado de curvatura de manera proporcional, debido a que las partículas conductoras se separan entre si aumentando la resistencia y perdiendo la conductividad. En la Figura 3.12. se puede observar el comportamiento del sensor flex según la curva aplicada. Cuando el sensor deja de sufrir alguna deformación los valores de resistencia regresan a su estado original. (Estrada Jiménez, 2016)

Figura 3.12. Funcionamiento del sensor flex.

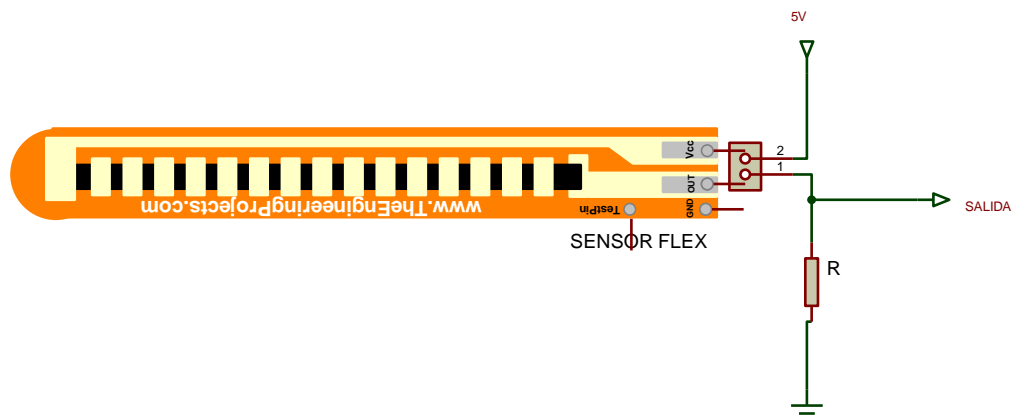


Deformación del sensor (a), curva caracteriza Resistencia vs posición (b). (Estrada Jiménez, 2016)

3.6.3 Acondicionamiento de la señal del sensor flex

Para tener un amplio rango de medición se realizó a cada sensor el acondicionamiento de la señal mediante un divisor de tensión como se muestra en la Figura 3.13.

Figura 3.13. Divisor de tensión.



Esquema del divisor de tensión empleado. (Cristopher Garrido, Patricio Uvillus)

En la Figura 3.13. se indica el divisor de tensión y sus componentes, en donde la resistencia R se calculó despejándola de la Ecuación 3.1 como se muestra a continuación:

$$V_o = \frac{R}{R_s + R} V_{in} \quad \text{Ecuación 3.1}$$

Donde:

$V_{in}= 5V$; $R_s= 10\text{ k}\Omega$ (Resistencia del sensor); $R=$ resistencia a calcular (Ω); $V_o= 3.8V$

Despejando R de la Ecuación 3.1 tenemos la siguiente expresión:

$$R = \frac{R_s * V_o}{V_{in} - V_o} \quad \text{Ecuación 3.2}$$

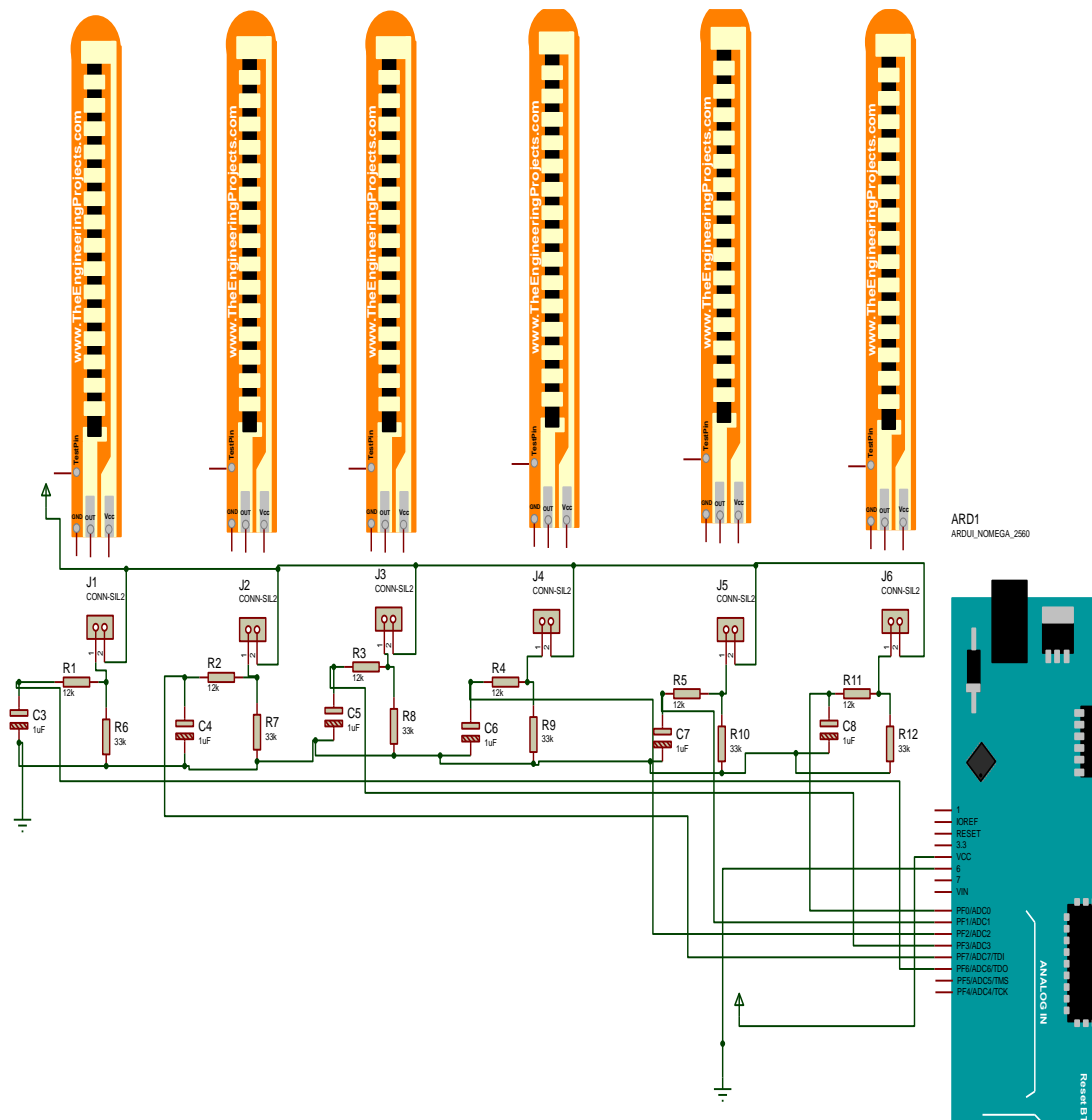
Resolviendo la Ecuación 3.2 da como resultado:

$$R = \frac{R_s * V_o}{V_{in} - V_o} = \frac{10\text{ k}\Omega * 3.8\text{ V}}{5\text{ V} - 3.8\text{ V}} = 32\text{ k}\Omega$$

3.6.4 Diagrama de conexión de los sensores con la placa Arduino mega

Una vez teniendo todos los valores de los elementos electrónicos se procede a realizar las conexiones, las cuales van de los pines A0 al A5 del controlador como se muestra en la Figura 3.14. En los cuales cinco de ellos obedecerán al movimiento de cada dedo y el sexto medirá las acciones generadas por la muñeca.

Figura 3.14. Conexión de los sensores flex.

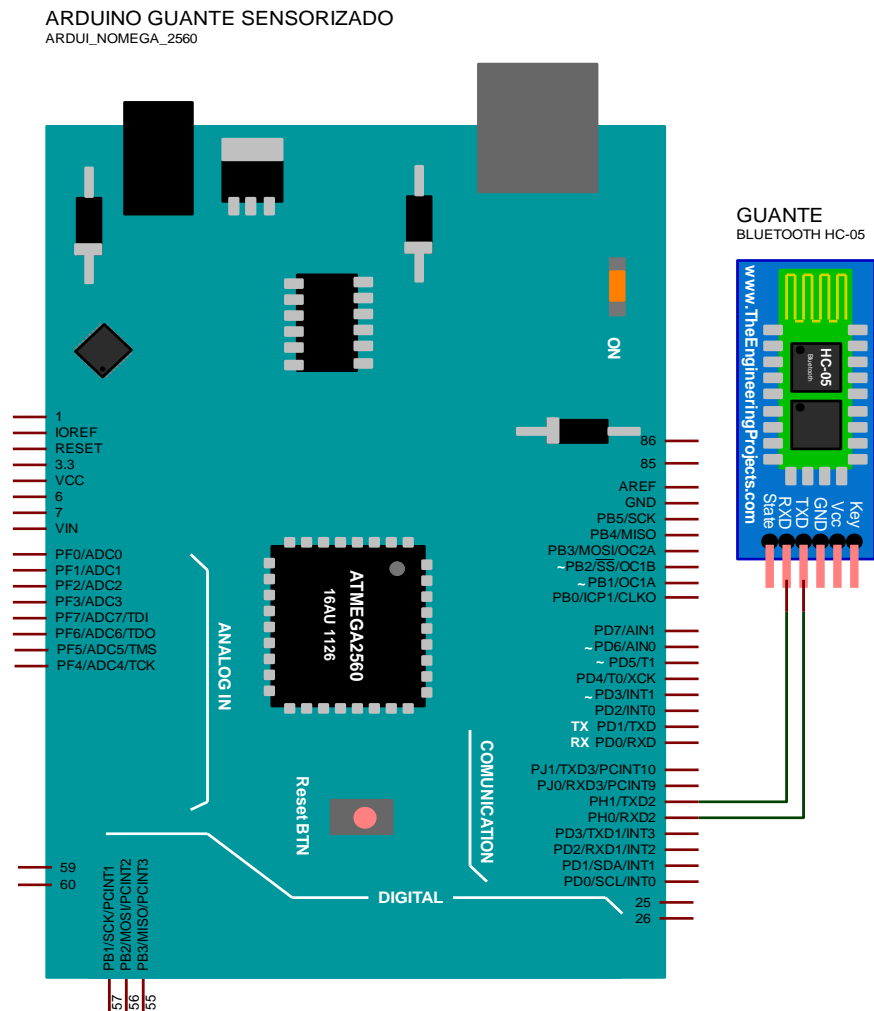


Circuito de conexión de los sensores flex. (Cristopher Garrido, Patricio Uvillus)

3.6.5 Conexión inalámbrica del guante

Al igual que en la mano robótica se usará un módulo bluetooth que estará conectado en el serial 2 (pines 17 (RX) y 16 (TX)) del Arduino mega para enviar los datos de guante hacia la mano robótica como se muestra en la Figura 3.15.

Figura 3.15. Conexión bluetooth del guante.



Esquema de conexión para el envío de datos del guante. (Cristopher Garrido, Patricio Uvillus)

CAPÍTULO 4

IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOTIPO

En el siguiente capítulo se explicará el desarrollo y la implementación del proyecto el cual se dividirá en 3 subcapítulos, y en cada uno de ellos se mostrará los tres elementos que intervienen en todo el sistema como son: el guante sensorizado, la mano robótica y la aplicación móvil. En la Figura 4.1. se muestra el diagrama de flujo de los dos procesos (GMA y AM) que intervienen en la comunicación bidireccional de todo el sistema.

Figura 4.1. Diagramas de flujos de los procesos.

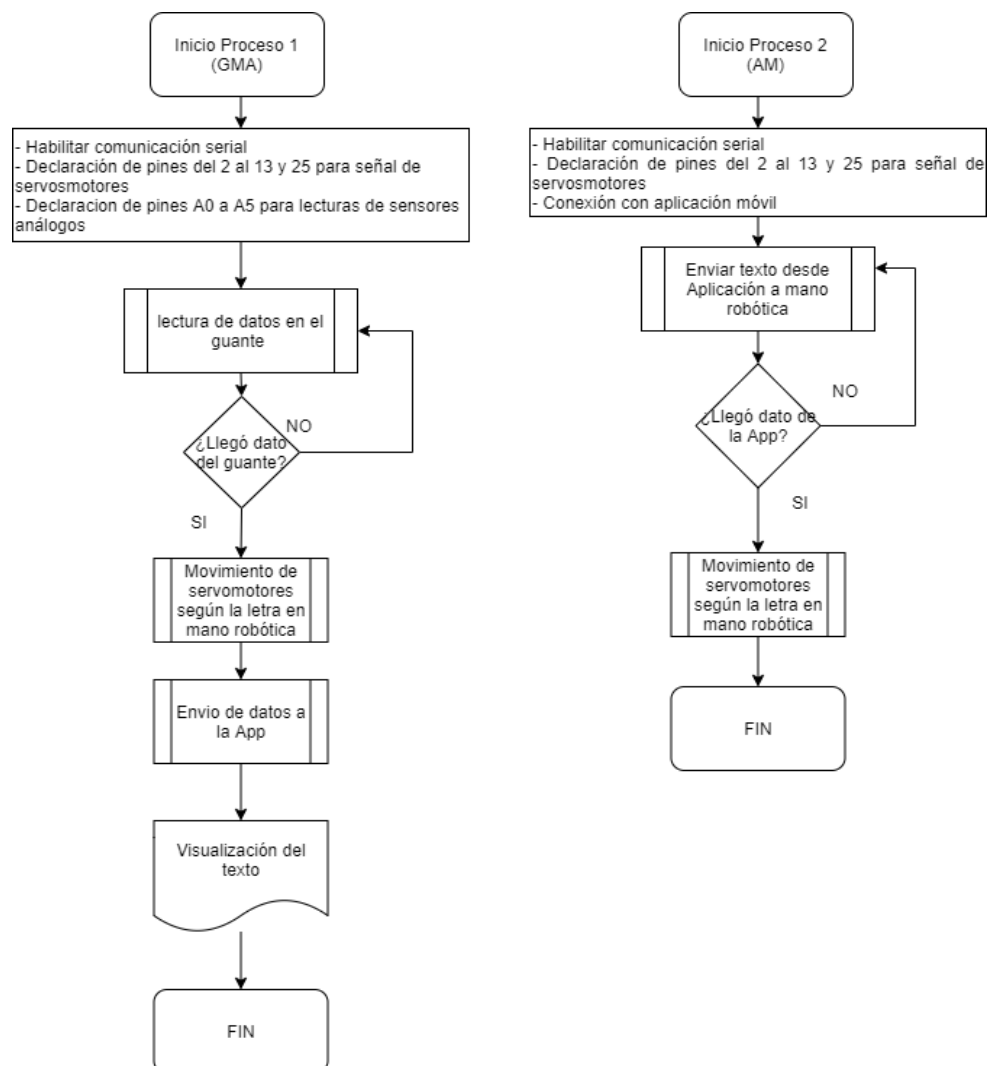
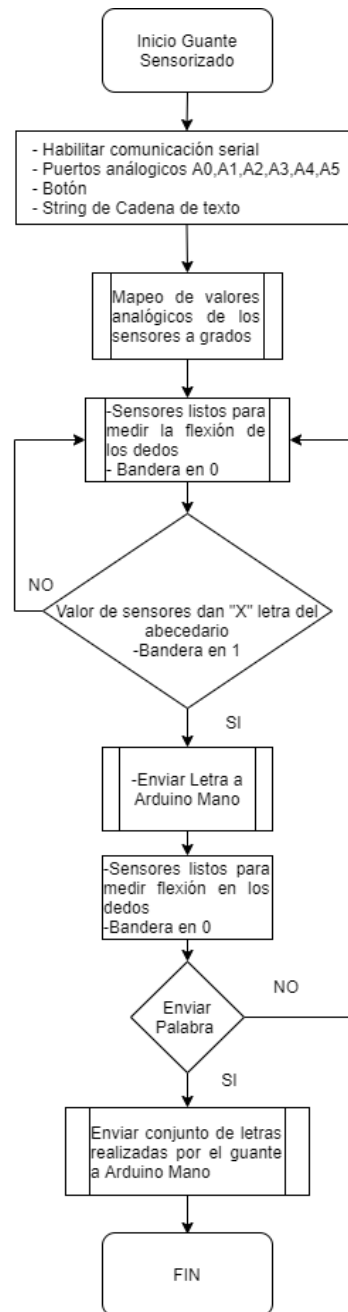


Diagrama de los dos procesos del sistema. (Cristopher Garrido, Patricio Uvillus)

4.1 Implementación del guante con el grupo de sensores

A continuación, se muestra el procedimiento que se realizó para el ensamblaje del guante conformado por el grupo de sensores y la placa. En la Figura 4.2. se detalla el diagrama de flujo que se obtiene del guante sensorizado.

Figura 4.2. Diagrama del flujo del guante.



Estructura detallada del diagrama de flujo de nuestro guante. (Cristopher Garrido, Patricio Uvillus)

4.1.1 Elección del guante y colocación de sensores

El guante para el desarrollo del proyecto debe ser robusto y ergonómico por el constante uso al cual será sometido por lo que se optó por uno de buena calidad. Una vez teniendo el guante a usar procedemos a realizar una simulación visual respecto a la ubicación de los sensores lo que da una mejor idea de diseño al momento de implementar en el proyecto.

En la Figura 4.3. podemos observar cual sería la ubicación de los sensores flex en el guante, en donde las líneas de color rojo simulan a los sensores posicionados en los dedos y en la parte interior de la muñeca.

Figura 4.3. Posición de sensores flex.



Simulación de la ubicación de los sensores flex en el guante. (Cristopher Garrido, Patricio Uvillus)

Cinco de ellos están ubicados en los dedos y uno se ubicará en la muñeca, cada sensor tendrá conectado sus pines a un sócalo, lo cual nos permite soldar cables de conexión, los mismos servirán para conectar dichos sensores con la placa. Hay que cerciorarse que cada elemento este asegurado al momento de ubicarlos ya que así nos evitamos que se desconecten o rompan y tengamos problemas posteriores en su funcionamiento. En la Figura 4.4. se muestra el guante con los sensores flex y sus respectivas conexiones.

Figura 4.4. Guante sensorizado.

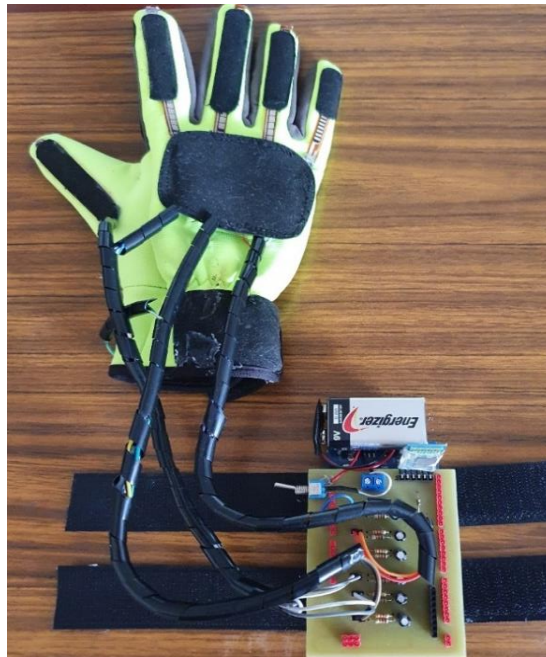


Ubicación de los sensores flex en el guante con sus conexiones. (Cristopher Garrido, Patricio Uvillus).

4.1.2 Conexión de todos los elementos en el guante

Lo siguiente es realizar la conexión de todos los componentes (ver Anexo 2), Acto seguido se procede a soldar todos los elementos en la placa y a realizar las conexiones de alimentación en las borneras que unen a los elementos con la placa. Luego se realiza las pruebas necesarias para corroborar el correcto funcionamiento de todos los componentes que forman el prototipo del guante sensorizado. En la Figura 4.5., se muestra el resultado final del guante junto a la conexión de todos sus elementos.

Figura 4.5. Guante sensorizado.



Guante con sus sensores, placa, controlador y batería. (Cristopher Garrido, Patricio Uvillus)

4.1.3 Medición de valores de los sensores flex

A continuación, en la Tabla 4.1. se muestran los valores de medición máximos y mínimos que dieron como resultado al realizar los movimientos de cada sensor ubicados en las distintas partes de nuestro guante.

Tabla 4.1. Valores máximos y mínimos medidos de los sensores flex.

DEDOS	Valor Ohm mínimo (SIN flexión)	Valor Ohm máximos (CON flexión)
Meñique	10 k	98k
Anular	10 k	48k
Medio	10 k	59k
Índice	10 k	42k
Pulgar	10 k	88k
Muñeca	10 k	73k

Tabla de valores medidos máximos y mínimos de los sensores. (Cristopher Garrido, Patricio Uvillus)

4.1.4 Calibración de los sensores de acuerdo con el ángulo de deformación

Para calibrar el ángulo es necesario conocer la respuesta de los sensores ubicados en el guante sensorizado. Por ello, se midió el voltaje de salida de cada sensor para un ángulo determinado. Todos los sensores tienen características mecánicas iguales, por lo tanto, es suficiente conocer la respuesta para uno de ellos. Se presenta la Tabla 4.2 con los valores medidos para diferentes ángulos en el sensor.

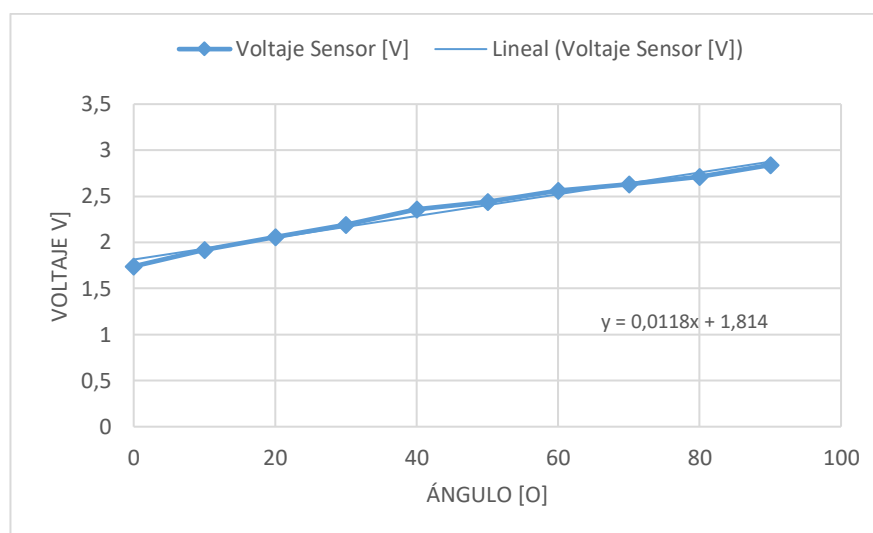
Tabla 4.2. Valores medidos del sensor flex.

Ángulo [°]	Voltaje Sensor [V]
0	1,74
10	1,92
20	2,06
30	2,19
40	2,36
50	2,44
60	2,56
70	2,63
80	2,71
90	2,84

Voltaje de salida del sensor con diferentes ángulos de flexión (Cristopher Garrido, Patricio Uvillus)

Estos valores son graficados y mostrados en la Figura 4.6 para entender de mejor manera.

Figura 4.6. Gráfica voltaje vs grados.



Voltaje de salida del sensor con diferentes ángulos de flexión (Cristopher Garrido, Patricio Uvillus)

La Figura 4.6. muestra que el sensor del guante en ese intervalo tiene una respuesta casi lineal, utilizando el método de regresión por mínimos cuadrados en Excel se obtiene la Ecuación 4.1

$$V_{\text{sensor}} = 0.0118 * \text{ángulo} + 1.814 \quad \text{Ecuación 4.1}$$

Esta ecuación fue implementada en la programación para la calibración de nuestro guante puesto que se necesita el para mapear de forma correcta los valores analógicos.

4.1.5 Programación de Arduino para el funcionamiento del guante

A continuación, se explicará brevemente el código de programación que se cargó en el Arduino Mega.

En la Figura 4.7. se muestra cómo se realiza el mapeo de nuestros sensores flex, en este caso el ubicado en el meñique usando el valor de la resistencia del sensor con y sin flexión para establecer un rango de 0 a 1023 luego ingresando la Ecuación 4.1 nos ayudará a medir variaciones de ángulos de manera precisa al momento de flexionar el sensor.

Figura 4.7. Código de mapeo para los sensores flex.

```
// Menique
const float Resistencia_SinFlex = 44000.0;
const float Resistencia_Flexion = 98000.0;
int flexADC0 = analogRead(menique);
float flexV0 = flexADC0 * 4.98 / 1023.0;
float Vsensor= 0.0118*flexV0+1.814
float lecturaMenique = map(Vsensor, Resistencia_SinFlex, Resistencia_Flexion,
                           0, 90.0);
delay(10);
```

Código para calcular el ángulo de deformación de cada sensor. (Cristopher Garrido, Patricio Uvillus)

Para identificar la letra que se forma con el guante se tiene que cumplir con los parámetros requeridos por cada una de ellas, tomaremos como ejemplo a la letra A (El valor de cada una de las letras del abecedario están en la Tabla 5.1.), en la Tabla 4.3. se muestran los ángulos que se midieron en cada dedo para ser reconocida.

Tabla 4.3. Parámetros de la letra A.

Ubicación de sensores flex	Grados (°)
Meñique	75
Anular	72
Medio	79
Índice	72
Pulgar	3
muñeca	-6

Valores medidos en grados para identificar a la letra A. (Cristopher Garrido, Patricio Uvillus)

Una vez teniendo los valores generados de cada sensor al deformarse y los parámetros que cada letra necesita se procede a realizar una comparación entre ellos y así se sabrá la letra que se formó en el guante. En la Figura 4.8. se muestra como ejemplo el código que se realizó para la obtención de la letra A.

Figura 4.8. Código de programación para obtener la letra A.

```
if (lecturaMenique > 55 && lecturaMenique < 95 && lecturaAnular > 50 && lecturaAnular < 90 && lecturaMedio > 60 &&
lecturaMedio < 100 && lecturaIndice > 50 && lecturaIndice < 90 && lecturaPulgar > -5 && lecturaPulgar < 10 &&
lecturaMuneca > -5 && lecturaMuneca < 5 && a == 0) {
  cadena += "A";
  Serial2.print(" ");
  Serial2.print('A'); //envia dato letra A a modulo bluetooth
  Serial2.print("#");
  Serial.println('A');//envia dato letra A al monitor serie
  a = 1;
  delay(100); //tiempo de envio de cada dato 500ms
}
```

Código para identificar la letra A. (Cristopher Garrido, Patricio Uvillus)

Una vez generada las letras, estas son enviadas a la aplicación móvil, letra por letra para formar una palabra, en la Figura 4.9. se muestra el código de programación que se usó para realizar el envío a la mano robótica y a la aplicación; Esto es todo con respecto a la construcción y calibración del guante sensorizado.

Figura 4.9. Código de programación para el envío de datos.

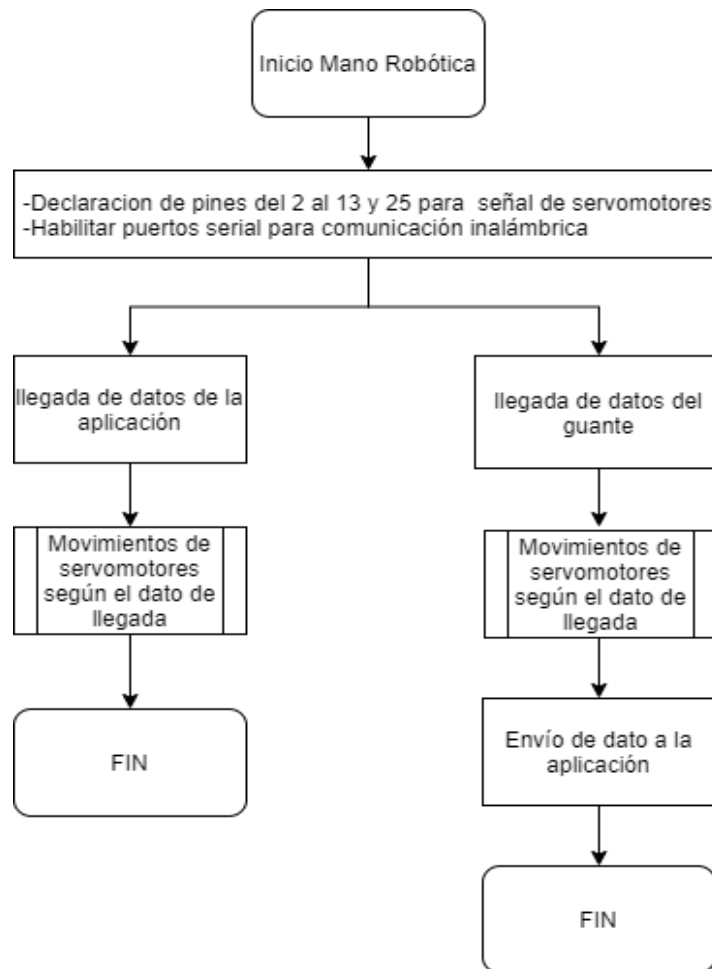
```
if (datBot == 1) {
  Serial.println(" ");
  Serial.print("TEXTO: ");
  Serial.print(cadena);
  Serial2.print(" ");
  Serial2.print(cadena);
  Serial2.print("#");
  delay(100);
  cadena = "\0";
  Serial.println(" ");
  delay(100);
}
```

Código para enviar letras o palabras a los dispositivos (Cristopher Garrido, Patricio Uvillus)

4.2 Implementación de la mano robótica

Para el desarrollo de la mano robótica se inicia especificando el diagrama de flujo de esta (Ver Figura 4.10.), en donde se comprenderá de mejor manera el funcionamiento y el proceso que seguirá para generar los movimientos mecánicos.

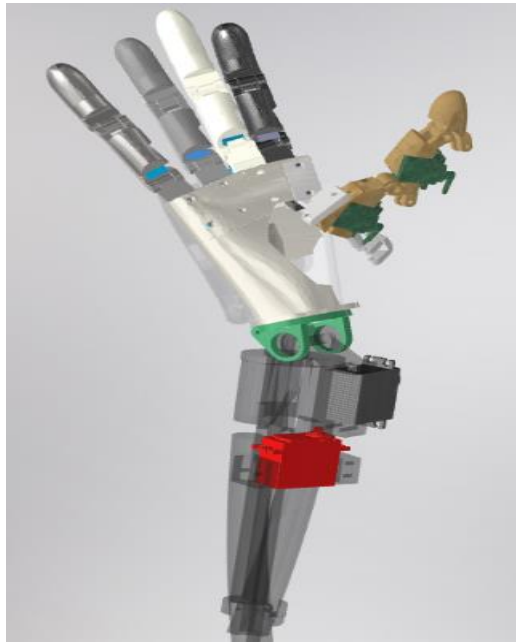
Figura 4.10. Diagrama de flujo de la mano robótica.



Proceso de funcionamiento de la mano robótica. (Cristopher Garrido, Patricio Uvillus)

Una vez diseñada la mano robótica de acuerdo con las medidas y especificaciones necesarias del proyecto se procede a realizar la impresión 3D, en la Figura 4.11. tenemos el modelo final listo para su impresión el cual fue realizado en el programa Inventor 2020.

Figura 4.11. Diseño final de la mano robótica.



Diseño final de la mano robótica hecha en Inventor 2020. (Cristopher Garrido, Patricio Uvillus)

Se procede a realizar la impresión 3D, la misma se realizó usando el material PLA (Acido Poliláctico) que es un polímero biodegradable formado a partir del ácido láctico, el cual se genera gracias a fuentes vegetales como son los cultivos de maíz, almidón y azúcar. Debido a las ventajas que tienen sus propiedades y fácil producción se lo usa en varios ámbitos como son recipientes de un solo uso y fibras para la confección de prendas de vestir y para la impresión 3D de piezas porque resulta muy económico y es común en el mercado. A comparación del ABS, el PLA genera productos con mayor durabilidad, esto sin afectar a la calidad al momento de imprimir. (Ñauta & Vergara, 2017)

En la Figura 4.12. se muestran las piezas que componen la mano robótica ya impresas con sus respectivas tuercas y tornillos listos para ser ensamblados.

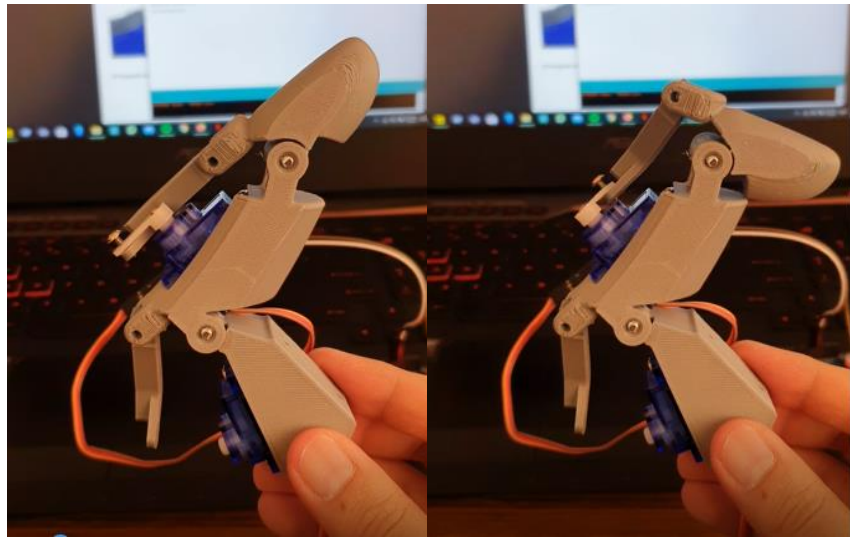
Figura 4.12. Piezas de la mano robótica.



Piezas impresas que conforman la mano robótica. (Cristopher Garrido, Patricio Uvillus)

Antes de ensamblar la mano robótica se procede a realizar la calibración de los servomotores mediante el controlador, ubicándolos en la posición inicial la cual corresponde a cero grados. Esto se realiza para verificar el rango de movimiento que tendrá cada servomotor en sus respectivas falanges, en la Figura 4.13. se muestra como ejemplo los movimientos máximos y mínimos que realizará el actuador en el dedo meñique, en donde se puede visualizar el accionar del servomotor cumpliendo el papel que desempeña la articulación interfalángica medial.

Figura 4.13. Movimientos del dedo meñique.



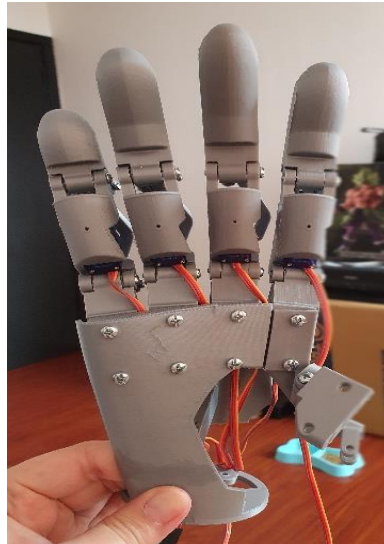
Calibración del movimiento que realiza el dedo meñique. (Cristopher Garrido, Patricio Uvillus)

Lo siguiente es realizar las conexiones del circuito esquemático, en donde constarán todos los elementos como: los servomotores, borneras, alimentación y los dispositivos bluetooth para el envío y recepción de datos inalámbricos, todo alimentado a el controlador. Los elementos en conjunto darán el movimiento mecánico de la mano de acuerdo con las letras generadas por el guante sensorizado o por la aplicación móvil.

En el anexo 1 se muestra la simulación del circuito de control que comandará la mano robótica, el mismo se lo realizó en el programa Proteus.

Una vez con todas las piezas de la mano robótica impresas y su respectivo circuito electrónico se procede a armar la misma haciendo uso de los elementos de sujeción como son tornillos y tuercas, en la Figura 4.14. se muestra una parte de la mano ya ensamblada y con los servomotores en su respectiva posición.

Figura 4.14. Mano robótica en proceso de ensamblaje.



Palma y parte de los dedos de la mano robótica ensamblados. (Cristopher Garrido, Patricio Uvillus)

Como resultado final en la Figura 4.15. tenemos la mano robótica ya ensamblada, su circuito de control y los dispositivos de emisión y recepción de datos.

Figura 4.15. Mano robótica.



Resultado final del ensamblaje de la mano robótica. (Cristopher Garrido, Patricio Uvillus)

4.2.1 Dispositivos de alimentación

En el prototipo se usaron dos fuentes de alimentación, la primera es una batería de 9 voltios que se utilizó en el guante sensorizado en este no hubo mayor problema puesto que el controlador de Arduino funciona sin problemas hasta con 12v y todas sus salidas entregan no más de 20mA. Sin embargo, en la mano robótica tenemos 13 servomotores y el amperaje de salida de los pines del Arduino mega es de 20mA, esto únicamente es suficiente para alimentar los servomotores, pero no para que funcionen por lo que se tuvo que conectar una fuente externa que satisfaga el consumo de corriente para ello hicimos el cálculo total mostrado en Tabla 4.4.

Tabla 4.4. Consumo de corriente de los servomotores.

Servomotor	Corriente de alimentación [mA]	Corriente de trabajo sin carga [mA]	Corriente de trabajo con carga [mA]	Número de Servomotores	Consumo total [mA]
SG90	8	300	500	11	5300
MG996R	12	500	900	2	1800
				Total	7300

Consumo total de corriente de los servomotores. (Cristopher Garrido Patricio Uvillus)

Como se observa en la Tabla 4.4. el consumo de los servomotores circula en 7.3A por lo que se usó una fuente externa de 5V a 8A con un rango de uso más que suficiente para trabajar con los servomotores, la ventaja de esta fuente es que no tuvimos que conectar un regulador de voltaje ya que al utilizar 5V es perfecta para alimentar la tarjeta de Arduino y los módulos bluetooth que irán en la misma.

4.2.2 Programación en Arduino para el funcionamiento de la mano robótica

En la Figura 4.16. se observa el código correspondiente al envío de datos que llega desde el guante hacia la mano robótica, el dato será enviado por el puerto serial 2 (pines17 (RX) y 16 (TX)) que corresponde a la letra que llegará a la aplicación.

Figura 4.16. Transmisión de datos hacia la aplicación móvil.

```
if (Serial2.available() > 0) {  
  dato = Serial2.read();  
  Serial.print(dato);  
  Serial3.print(dato);  
  delay(100);  
}
```

Código para enviar datos a la aplicación móvil. (Cristopher Garrido, Patricio Uvillus)

Para que la mano robótica forme las letras del alfabeto dactilológico hay que accionar los motores de acuerdo con los ángulos de giro necesarios, ya que cada letra tiene diferente forma y por ende diferentes parámetros de accionamiento. Para ello tomamos como ejemplo a la letra A, en la Figura 4.17. se observa cómo identifica que letra es y de acuerdo con esto se asigna un valor de giro a cada actuador que interviene, y así la mano robótica formará la letra, este proceso se repite para todo el abecedario.

Figura 4.17. Accionamiento de los motores para la letra A.

```
if (dato == 'A')  
{  
  ///LETRA A  
  ///CERRAMOS DEDOS DE MEÑIQUE A INDICE  
  servoMotor1.write(0); delay(100); servoMotor2.write(0); delay(100); servoMotor3.write(0); delay(100);  
  servoMotor4.write(0); delay(100); servoMotor5.write(0); delay(100); servoMotor6.write(0); delay(100);  
  servoMotor7.write(0); delay(100); servoMotor8.write(0); delay(3000);  
}
```

Identificación de la letra A y accionamiento de los motores. (Cristopher Garrido, Patricio Uvillus)

Después de formar la letra la mano vuelve a su posición de reposo, la cual es totalmente abierta con sus dedos extendidos lista para esperar nuevas órdenes, tal como se muestran en la Figura 4.18. en donde se asignan los valores que cada motor necesita.

Figura 4.18. Código de la mano en reposo.

```
//////////  
// Inicializamos al ángulo el servomotor  
servoMotor1.write(180); servoMotor2.write(180); servoMotor3.write(180); servoMotor4.write(180);  
servoMotor5.write(180); servoMotor6.write(180); servoMotor7.write(180); servoMotor8.write(180);  
servoMotor9.write(180); servoMotor10.write(180); servoMotor11.write(0); servoMotor12.write(40);  
servoMotor13.write(180); delay(2000);
```

Programación para que la mano se abra. (Cristopher Garrido, Patricio Uvillus)

4.3 Implementación de la aplicación móvil

El desarrollo de la aplicación móvil se realizó en el software de Android Studio el cual funciona mediante el lenguaje de programación java, en la Figura 4.19. se muestra el diagrama de flujo.

Figura 4.19. Diagrama de flujo de la aplicación móvil.

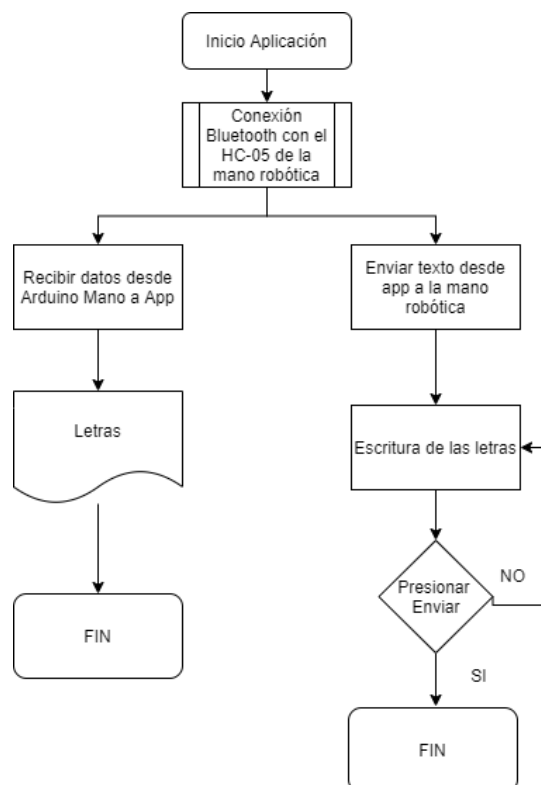
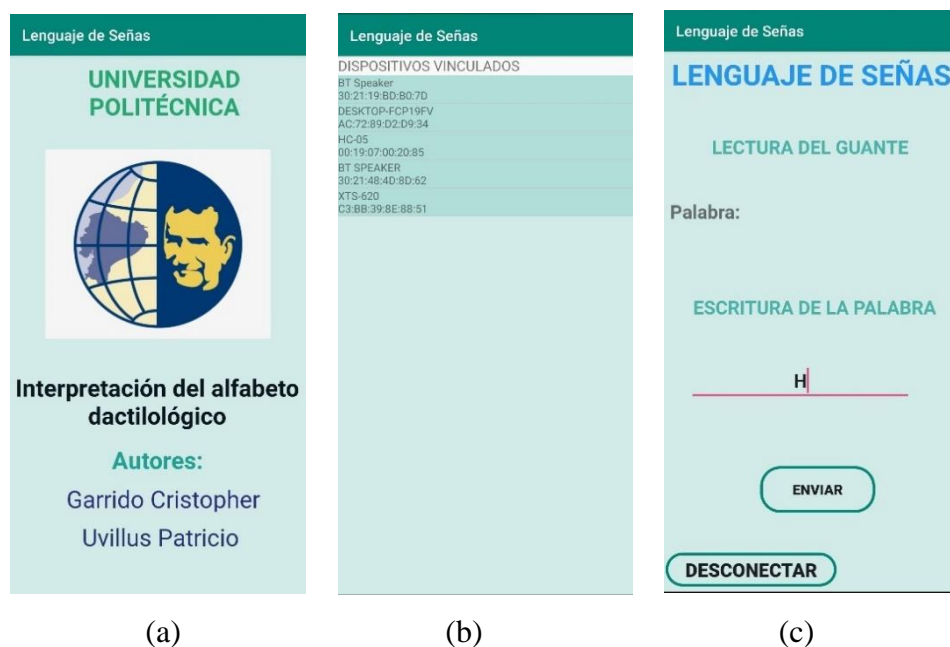


Diagrama que muestra el proceso que sigue la aplicación móvil. (Cristopher Garrido, Patricio Uvillus)

El desarrollo de la aplicación móvil se realizó en los dos entornos que dispone el software, uno de ellos es la parte gráfica que permite previsualizar la interfaz con la que actuará el usuario y el otro es el editor de código.

En la parte gráfica se ubican los gráficos, botones, cuadros de texto, etc. Como se muestra en la Figura 4.20., (a) tenemos la carátula, en la (b) se muestran todos los dispositivos bluetooth que se encuentran vinculados al celular, y en la (c) es en donde se desarrolla todo el funcionamiento de la aplicación, aquí se visualizará la letra o palabra generada por el guante, además podemos enviar otra letra o palabra y la misma será traducida a lenguaje de señas en la mano robótica.

Figura 4.20. Interfaz gráfica de la aplicación.



Ventanas que conforman la interfaz de la aplicación. (Cristopher Garrido, Patricio Uvillus)

El proceso para conectarnos a la mano robótica es elegir al módulo HC-05 que aparece en la lista de dispositivos vinculados (ver Figura 4.20. (b)), en la Figura 4.21. se muestra el código usado para buscar el dispositivo bluetooth emparejado en el celular.

Figura 4.21. Conexión de dispositivos bluetooth.

```

btAdapter = BluetoothAdapter.getDefaultAdapter(); // get Bluetooth adapter
VerificarEstadoBT();

IdEncender.setOnClickListener((v) -> {

    MyConexionBT.write(IdPalabra.getText().toString().trim());

});

IdDesconectar.setOnClickListener((v) -> {
    if (btSocket!=null)
    {
        try {btSocket.close();}
        catch (IOException e)
        { Toast.makeText(getBaseContext(), text: "Error", Toast.LENGTH_SHORT).show();;}
    }
    finish();
});

```

Código para conectarse al módulo HC-05. (Cristopher Garrido, Patricio Uvillus)

Con la conexión del dispositivo bluetooth lista podemos empezar a recibir y enviar datos desde la aplicación (ver Figura 4.20. (c)), A continuación, en la Figura 4.22. se muestra el código de programación que permite realizar la acción descrita antes.

Figura 4.22. Código para enviar y recibir texto en la aplicación.

```

bluetoothIn = new Handler() {
    @SuppressWarnings("HandlerLeak")
    public void handleMessage(android.os.Message msg) {
        if (msg.what == handlerState) {
            String readMessage = (String) msg.obj;
            DataStringIN.append(readMessage);

            int endOfLineIndex = DataStringIN.indexOf("#");

            if (endOfLineIndex > 0) {
                String dataInPrint = DataStringIN.substring(0, endOfLineIndex);
                IdBufferIn.setText("Palabra: "+ dataInPrint);//<-<- PARTE A MODIFICAR >->
                DataStringIN.delete(0, DataStringIN.length());
            }
        }
    }
};

```

Código para la recepción y envío de datos a la mano robótica. (Cristopher Garrido, Patricio Uvillus)

CAPÍTULO 5

PRUEBAS Y RESULTADOS

A fin de determinar si los elementos que intervienen en el sistema satisfacen los objetivos planteados es necesario someterlos a una serie de pruebas con el propósito de observar el comportamiento ante diferentes circunstancias. Además, nos ayudan a determinar los errores que pueden suceder al momento de realizar las letras con el guante sensorizado. Por ello se realizaron las siguientes pruebas:

5.1 Funcionamiento del guante sensorizado

Para este proceso inicialmente se obtuvieron las señales provenientes de los sensores flexibles, mediante los puertos análogos de la tarjeta electrónica, se convirtieron en dígitos de 0 a 1023. Estos valores fueron mapeados a un sistema sexagesimal para identificar las posiciones de los dedos en cada configuración manual; dedos sin flexión= 0° , dedo completamente flexionado= 90° . Con estos valores como se muestra en la Tabla 5.1. (Tabla de datos de cada letra) se puede ver el ángulo en cual necesita cada dedo para formar una letra del alfabeto dactilológico.

Tabla 5.1. Valores de flexión medidos para cada letra.

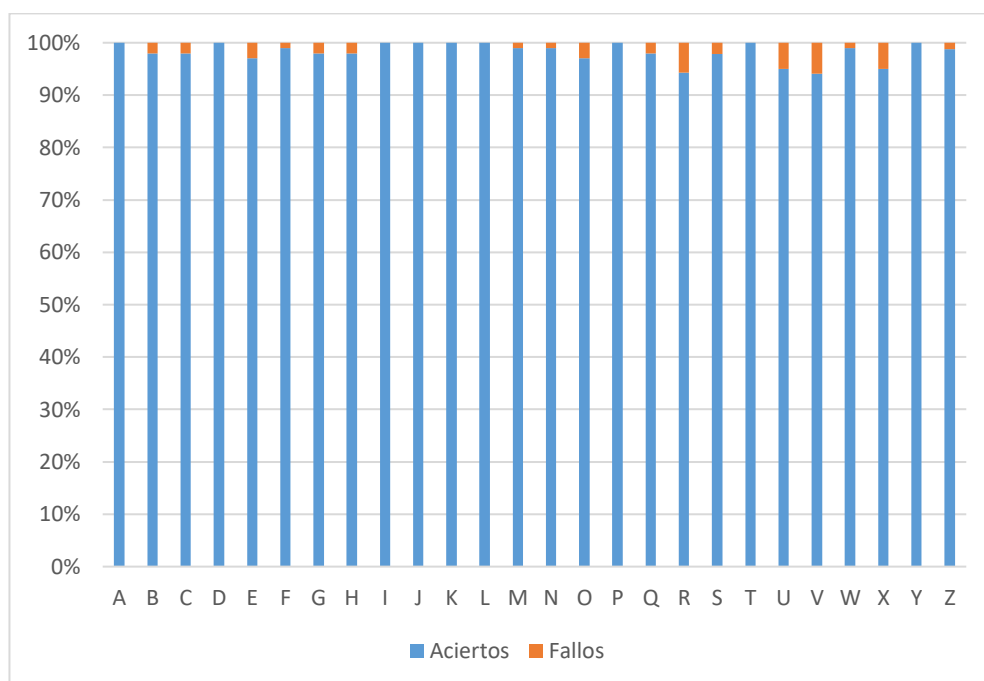
Letras Dedos	Sin flexión	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z
Meñique	0	75	0	15	70	40	1	63	13	0	-5	12	50	45	33	50	37	60	40	70	4	30	20	60	60	1	50
Anular	0	72	-2	15	50	55	2	60	30	55	55	30	50	0	37	50	32	55	40	71	-2	42	40	1	50	40	40
Medio	0	79	-2	30	55	70	2	60	-5	60	60	1	45	-2	-5	60	9	60	12	70	3	5	4	1	65	55	46
Índice	0	72	-1	30	1	55	45	2	-1	70	70	0	0	11	3	60	0	16	-2	70	53	0	0	3	30	70	0
Pulgar	0	3	10	10	12	36	2	9	1	35	35	-3	1	5	-1	30	0	9	7	40	14	5	7	11	55	2	25
muñeca	0	-6	-2	-2	-4	-4	-4	17	45	-6	15	-4	-3	60	77	1	23	80	-1	-3	-3	0	-2	0	-3	-5	1

Ángulos de flexión medidos con el guante sensorizado. (Cristopher Garrido, Patricio Uvillus)

Lo siguiente es calibrar el sistema de sensores para comprobar la precisión de este, ya que existen manos adultas con diferentes tamaños y lo que se busca es que sea funcional pese a estas variaciones que podrían existir, esto se logró asignando un rango de -15 y +15 al valor del ángulo medido. En base a los resultados obtenidos se diseñó

el gráfico de barras ilustrado en la Figura 5.1., el cual muestra la precisión del sistema en la traducción de cada letra.

Figura 5.1. Precisión del guante sensorizado.








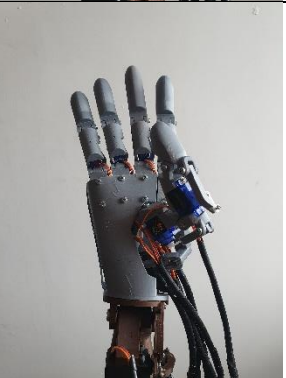


Error porcentual de cada letra configurado con el guante sensorizado. (Cristopher Garrido, Patricio Uvillus)




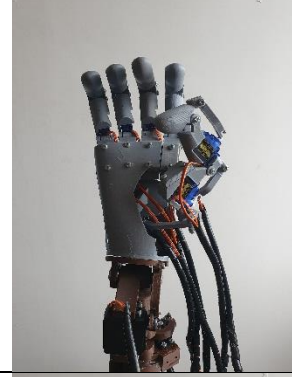




Como se puede observar en la Figura 5.1., la traducción de nuestro dispositivo es bastante exacta, la prueba se realizó formando diferentes letras para registrar el número de veces en que la traducción era correcta y también para registrar el número de veces en la cual estas fallaban para así determinar la exactitud del dispositivo.


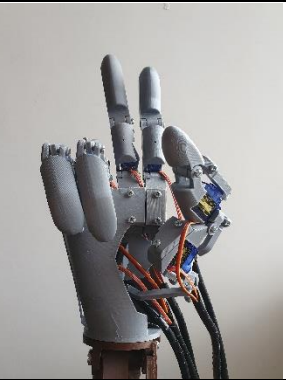





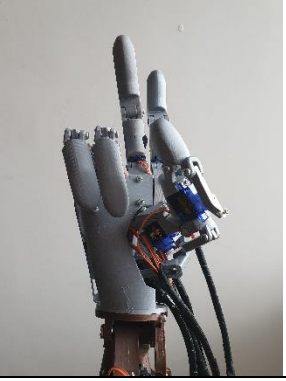
5.2 Funcionamiento de la mano robótica


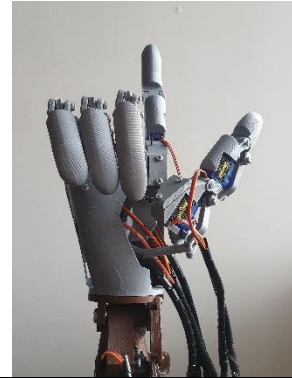

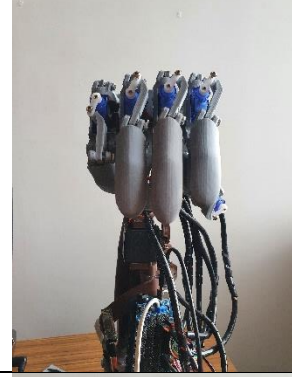



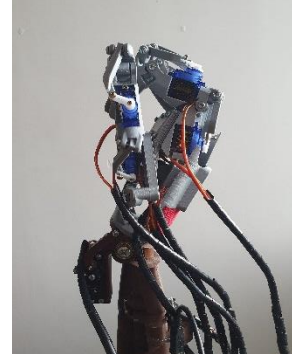
En esta prueba lo que se hizo fue replicar el alfabeto de señas, usando el guante para que se visualice en la mano robótica como se puede observar en la Tabla 5.2, y los resultados fueron los siguientes:



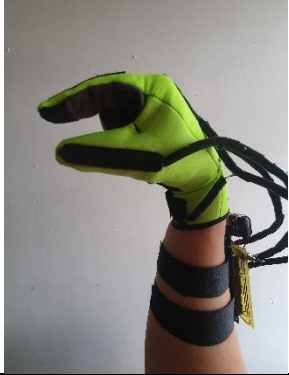


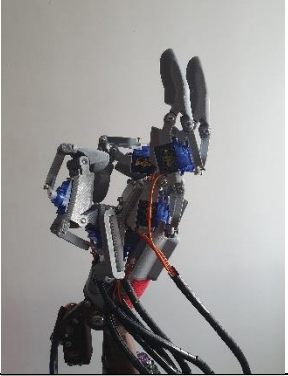

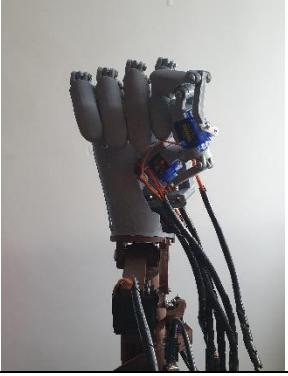
Tabla 5.2. Alfabeto dactilológico replicado por el guante y mano robótica


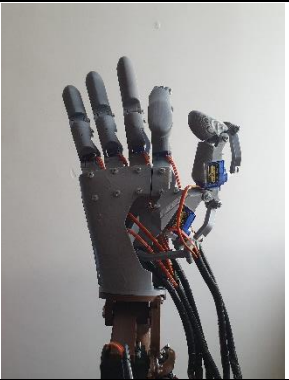

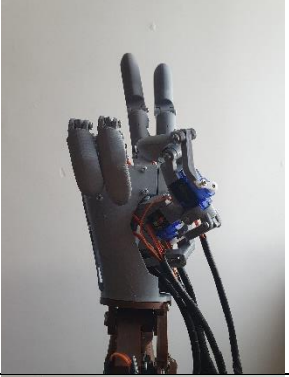



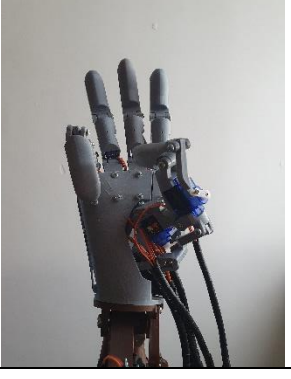
	Guante Traductor	Mano Robótica
Posición Inicial		
A		
B		
C		

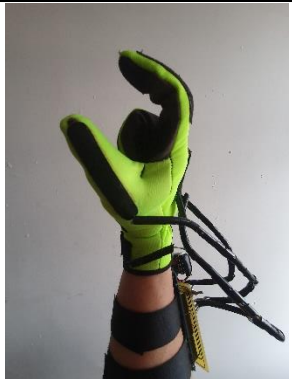





D		
E		
F		
G		

H		
I		
J		
K		

L		
M		
N		
O		

P		
Q		
R		
S		

T		
U		
V		
W		

X		
Y		
Z		

Lenguaje de señas hecho con guante sensorizado y mano robótica (Cristopher Garrido, Patricio Uvillus)

5.2 Comunicación inalámbrica entre guante sensorizado, mano robótica y aplicación

Para esta prueba lo que se va a hacer es comprobar que la conexión inalámbrica de los módulos bluetooth conectado en los tres dispositivos, si la conexión es la correcta deberá salir en la pantalla de la aplicación el mensaje de “abierto” el cual indica que la comunicación entre el guante, mano robótica y aplicación se llevó acabo de manera exitosa, tal como se muestra en la Figura 5.2.

Figura 5.2. Conexión entre los 3 dispositivos.



Mensaje en la aplicación móvil el cual muestra la conexión entre los 3 dispositivos. (Cristopher Garrido, Patricio Uvillus)

Una vez que la conexión entre los dispositivos ha sido exitosa, el sistema se encuentra listo para trabajar, para ello se comprueba la primera parte de la comunicación, midiendo los tiempos el cual le toma a los módulos bluetooth de la mano robótica recibir los datos del guante para luego enviarlos a la aplicación móvil tal como se muestra en la Tabla 5.3.

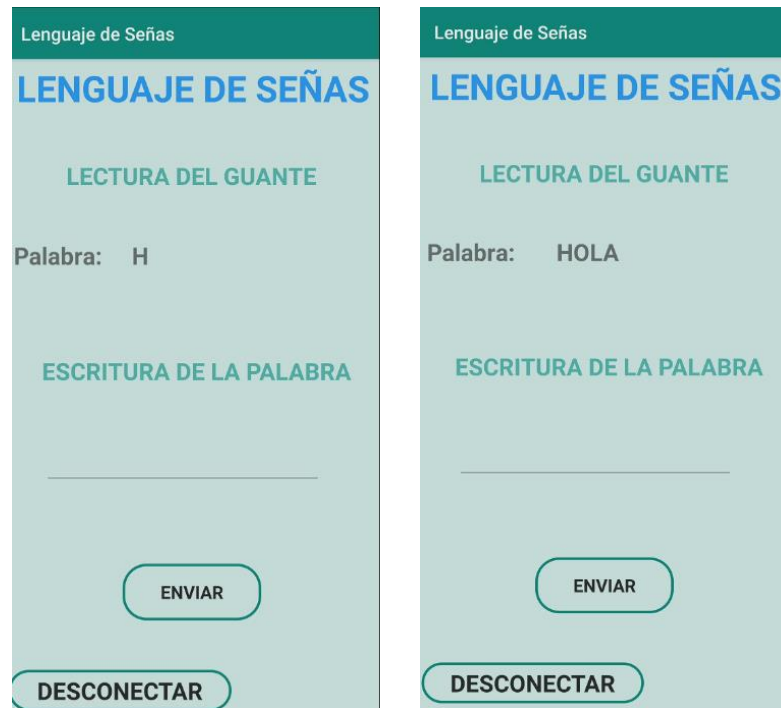
Tabla 5.3. Tiempo de envío de datos.

	Tiempo de envío de datos	
	Del guante a la mano [seg]	De la mano a la aplicación [seg]
Letra	1.4	1.6
Palabra	1.8	1.9

Tiempo que tarda una letra y palabra en llegar a nuestros dispositivos. (Cristopher Garrido, Patricio Uvillus)

Con los tiempos medidos se tiene en la aplicación el siguiente resultado como se observa en la Figura 5.3.

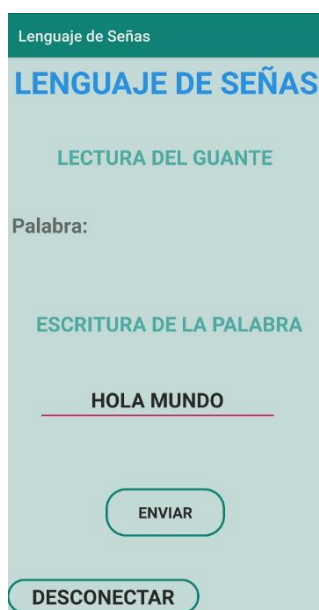
Figura 5.3. Aplicación móvil: llegada de datos.



Letra y palabra que llega a la aplicación. (Cristopher Garrido, Patricio Uvillus)

Lo siguiente es comprobar la segunda parte de la comunicación en la cual se mide el tiempo que le toma al módulo bluetooth recibir datos de la aplicación para accionar la mano robótica, para ello escribimos el mensaje en la tal como se muestra en la Figura 5.4.

Figura 5.4. Aplicación móvil envío de datos.



Mensaje para enviar a la mano robótica. (Cristopher Garrido, Patricio Uvillus)

Una vez escrito el mensaje se presiona enviar y se mide el tiempo que tarda la mano robótica en replicar las letras en señas, dando como resultados los tiempos que se pueden ver en la Tabla 5.4.

Tabla 5.4. Tiempo en llegar los datos.

	Tiempo de llegada de los datos
	De la aplicación a la mano [seg]
Palabra	0,6
Varias Palabras	0,9

Tiempo que tarda una y varias palabras en llegar a la mano robótica. (Cristopher Garrido, Patricio Uvillus)

De este modo se comprueba que existe comunicación bidireccional entre los dos procesos que intervienen en el sistema.

5.3 Presupuesto

El dinero invertido en el desarrollo de este proyecto se muestra en la Tabla 5.5.

Tabla 5.5. Costo del desarrollo del proyecto.

Cantidad	Descripción	Precio Unitario \$	Precio Total \$
1	Guantes	25	25
6	sensores flex	25	150
5	metros de cable	0,3	1,5
20	resistencias	0,02	0,4
10	capacitores	0,15	1,5
3	Módulos HC-05	7	21
1	batería	4	4
1	baquelita	5	5
3	metros de velcro	1	3
2	Tarjetas Arduino Mega	25	50
11	Servo Motor SG90	4	44
2	Servo Motor MG996R	15	30
	Tornillería	10	10
	Impresión 3D	300	300
1	Arduino Mega Shield	15	15
	Cable de conexión	20	20
	Fuente de Alimentación	15	15
	Varios	100	100
	Costo hora de ingeniería	20	800
		Total: \$	1595,4

Costo de los materiales utilizados en el desarrollo del proyecto. (Cristopher Garrido, Patricio Uvillus)

CONCLUSIONES

Se logró elaborar una mano robótica capaz de replicar los movimientos básicos de la mano humana y por medio de la aplicación móvil se pudo establecer un método para que las personas sordomudas puedan entablar una comunicación con personas que desconozcan el lenguaje de señas y así se sientan incluidas en la sociedad.

La investigación realizada acerca del lenguaje dactilológico nos permitió aprender el método básico que utilizan las personas sordomudas para comunicarse y así establecer la simbología que usa cada letra para lograr su reproducción en nuestro sistema.

Se logró diseñar y construir una mano robótica con mayores grados de libertad previo al objetivo planteado con el afán de que los movimientos de esta traten de ser de lo más fluido y semejantes a los de una mano humana real.

Se pudo observar en las pruebas que la interfaz de la aplicación móvil es muy intuitiva y similar a otras aplicaciones de mensajería con el fin de que el usuario final no tenga problemas al momento de enviar o recibir texto de los otros dispositivos.

Se implementó un guante sensorizado del tamaño de una persona adulta capaz de captar y medir la flexión de dedos de la mano con el fin de imitar esos movimientos en la mano robótica y también convertirlos en señales que lleguen en forma de texto a la aplicación móvil.

Como se pudo observar en las pruebas, la fiabilidad y velocidad de nuestro sistema es bastante alta ya que el envío y la llegada de datos de un dispositivo a otro se logró de manera fluida sin tener que esperar mucho tiempo, de este modo se estableció que la comunicación bidireccional entre nuestros dispositivos es funcional con rangos de tiempos aceptables.

RECOMENDACIONES

Una vez concluido el proyecto, se recomienda que si se desea tener una mejor precisión en el funcionamiento del guante se debe usar más sensores flex en los dedos para representar cada falange, o a su vez se puede incluir un módulo giroscopio.

Se recomienda usar módulos wireless para establecer la comunicación inalámbrica, puesto que ofrecen mejores ventajas en comparación a los módulos bluetooth tales como: mayor alcance, velocidad y manejo de datos.

Al usar la mano robótica se la debe colocar sobre una superficie plana, ya que al realizar algún movimiento brusco puede caerse o sufrir algún accidente.

LISTA DE REFERENCIAS

- Bardelli, E. (27 de Abril de 2019). Clarin Zonales. Obtenido de https://www.clarin.com/zonales/inventaron-guante-sordomudos-traduce-lenguaje-senas-celular_0_aAT7o09u7.html
- Gómez, G. J. (18 de Enero de 2017). PAGINA EDUCATIVA MADRE CREATIVA. Obtenido de <https://dejesusgomez.blogspot.com/2017/01/huesos-de-la-mano-del-cuerpo-humano.html>
- Rodríguez, E. (19 de Agosto de 2017). EL Español. Obtenido de https://www.elespanol.com/omicron/tecnologia/20170819/brazo-robotico-traducir-lenguaje-signos/240226634_0.html
- Aguilar, P., & Pogo, H. (2013). Diseño y construcción de un guante prototipo electrónico capaz de traducir el lenguaje de señas de una persona sordomuda al lenguaje de letras. In *Ecuador*.
- Biendicho, F. (2015). “ *Comunicación Bluetooth entre Arduino UNO y Android aplicado a un detector de mentiras* ” [Universidad Politécnica de Valencia]. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/57549/Memoria.pdf?sequence=>
- Bolaños, D. (2018). *Programar posiciones en un Micro Servo Tower Pro SG90 9G*. 1–9. <http://www.bolanosdj.com.ar/MOVIL/ARDUINO2/servomotores.pdf>
- Duque Arias, D. F., & Ibarra Caicedo, M. R. (2014). *Diseño e implementación de un guante electrónico que permite transformar el lenguaje de señas en caracteres y reproducción sonora de voz artificial*. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/6329>
- Espínola Jimenez, A. (2015). Accesibilidad auditiva. *Colección Democratizando La Accesibilidad*, 7, 13–110. [https://sid.usal.es/idsocs/F8/FDO27110/Accesibilidad auditiva.pdf](https://sid.usal.es/idsocs/F8/FDO27110/Accesibilidad%20auditiva.pdf)
- Estrada Jiménez, L. A. (2016). *Diseño e implementación de un prototipo para la traducción de lenguaje de señas mediante la utilización de un guante sensorizado*. <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/16712>
- Gutiérrez Sotomayor, M. B. (2013). *Facultad De Ingeniería En Sistemas Electrónica E Industrial Carrera De Ingeniería Industrial En Procesos De*. 250.
- Lastra, D. (2015). *Modelo analógico y digital en SystemC-AMS de la placa Arduino Mega 2560* [UNIVERSIDAD DE CANTABRIA].

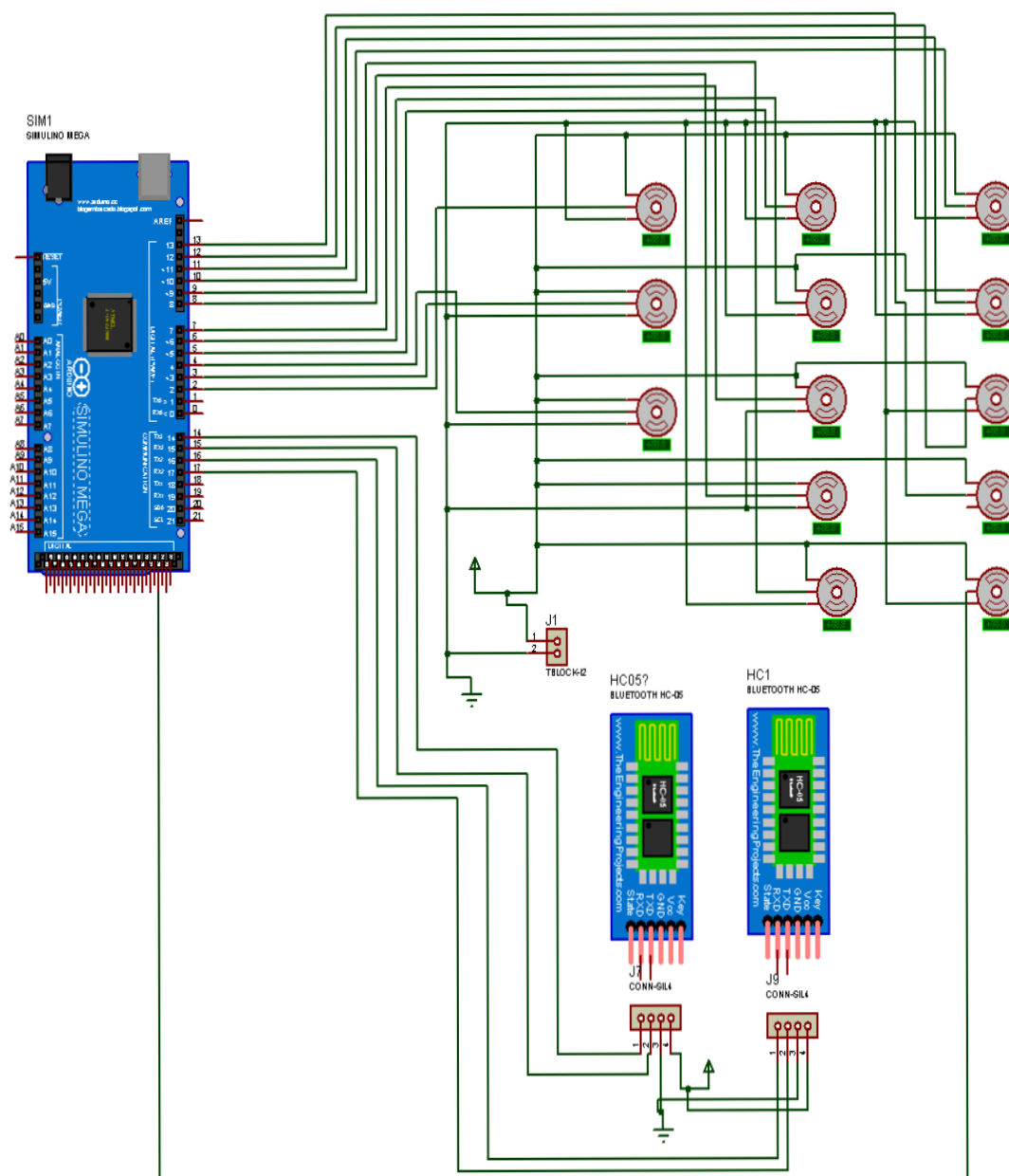
<https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/7348/378290.pdf?sequence=1>

- Loureiro, M., & Pujol, J. (2017). Taller Robótica Libre con Arduino Arduino. *Arduino Open Source Community*.
<http://educalab.es/documents/10180/640047/TallerRoboticaLibreArduino.pdf/c77adbfd-606a-4fbe-acd4-11630927b5a4>
- Medina, C., Benet, M., & Marco, F. (2016). El complejo articular de la muñeca: aspectos anatófisiológicos y biomecánicos, características, clasificación y tratamiento de la fractura distal del radio. *MediSur*, 14(4), 430–446.
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1727-897X2016000400011&lng=es&nrm=iso&tlng=es%0Ahttp://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1727-897X2016000400011
- Ñauta, A., & Vergara, M. (2017). *Simulación de Termofluidos de PLA Natural Y ABS en el Proceso de Impresión en 3D*. 104. <https://doi.org/10.1038/sj.bjp.0701812>
- Palastanga, Field, D., & Soames, R. (2000). *Anatomía y movimiento humano. Estructura y funcionamiento*. (1st ed.). Paidotribo.
<https://books.google.co.ve/books?id=a5iSQyJVBPkC&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false>
- Soto, A., Olave, E., & Binivignat, O. (2013). Características biométricas de los huesos metacarpianos en individuos Chilenos. *International Journal of Morphology*, 31(3), 809–812. <https://doi.org/10.4067/S0717-95022013000300004>
- Triviño, M. (2018). *Diseño e implementación de un manipulador robot de asistencia a personas con disfunción motora*. [UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID ESCUELA].
http://oa.upm.es/49704/1/TFG_MARIO_TRIVINO_ROMANO.pdf
- Vilches Vilela, M. J., Fernández García, N. L., Pavón Trujillo, R., Navas-Chaveli Daza, J. L., & Llamas Castaño, H. (2017). Dígitus: aplicación informática para la práctica de la dactilología. *Revista de Innovación y Buenas Prácticas Docentes*, December, 58–65. <https://doi.org/10.21071/ripadoc.v2i0.9621>

ANEXOS

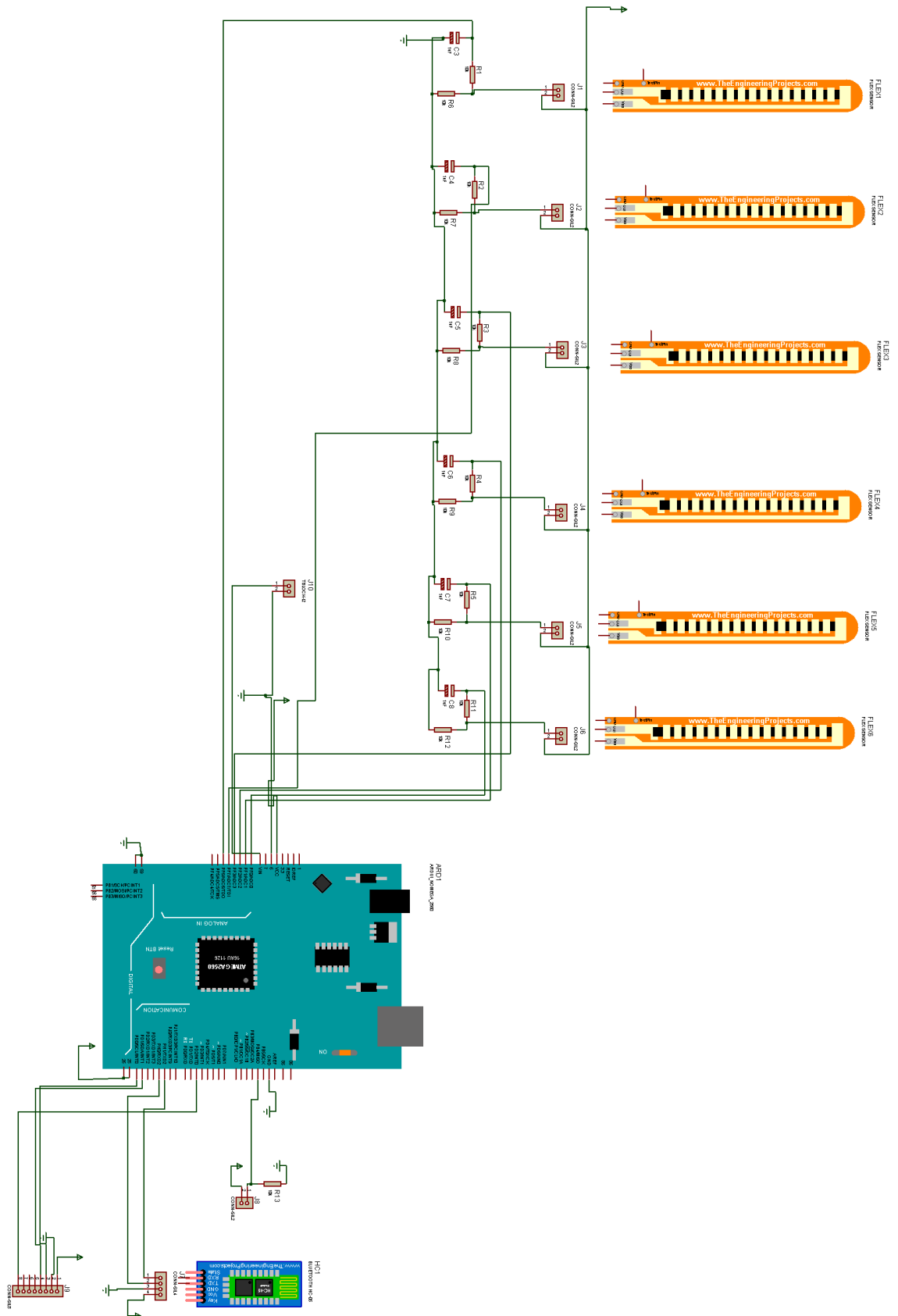
Anexo 1

Diagrama de conexión de la mano robótica



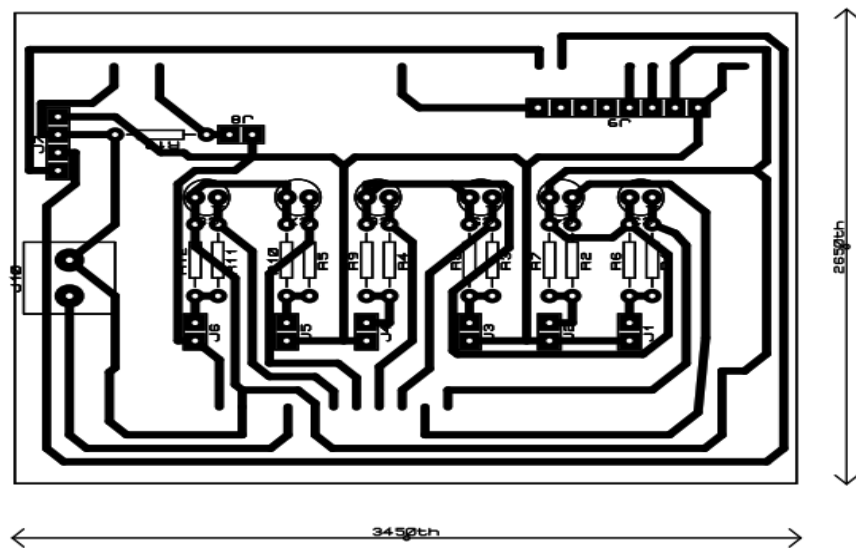
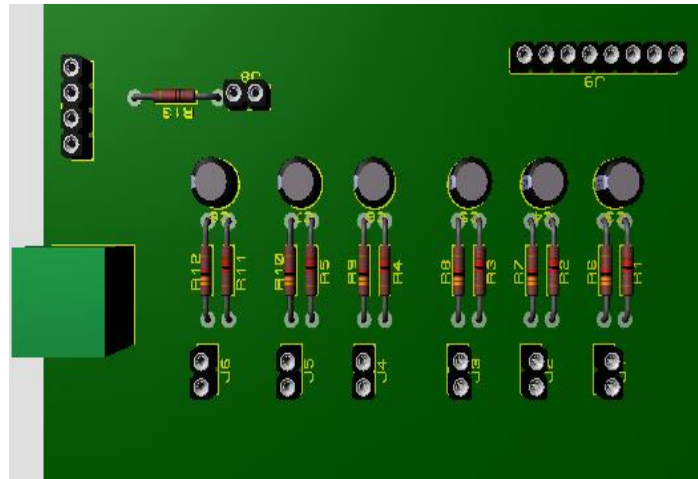
Anexo 2

Diagrama de conexión del guante sensorizado



Anexo 3

Diseño de la placa shield para el guante sensorizado



Anexo 4

Planos de la mano robótica

